This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

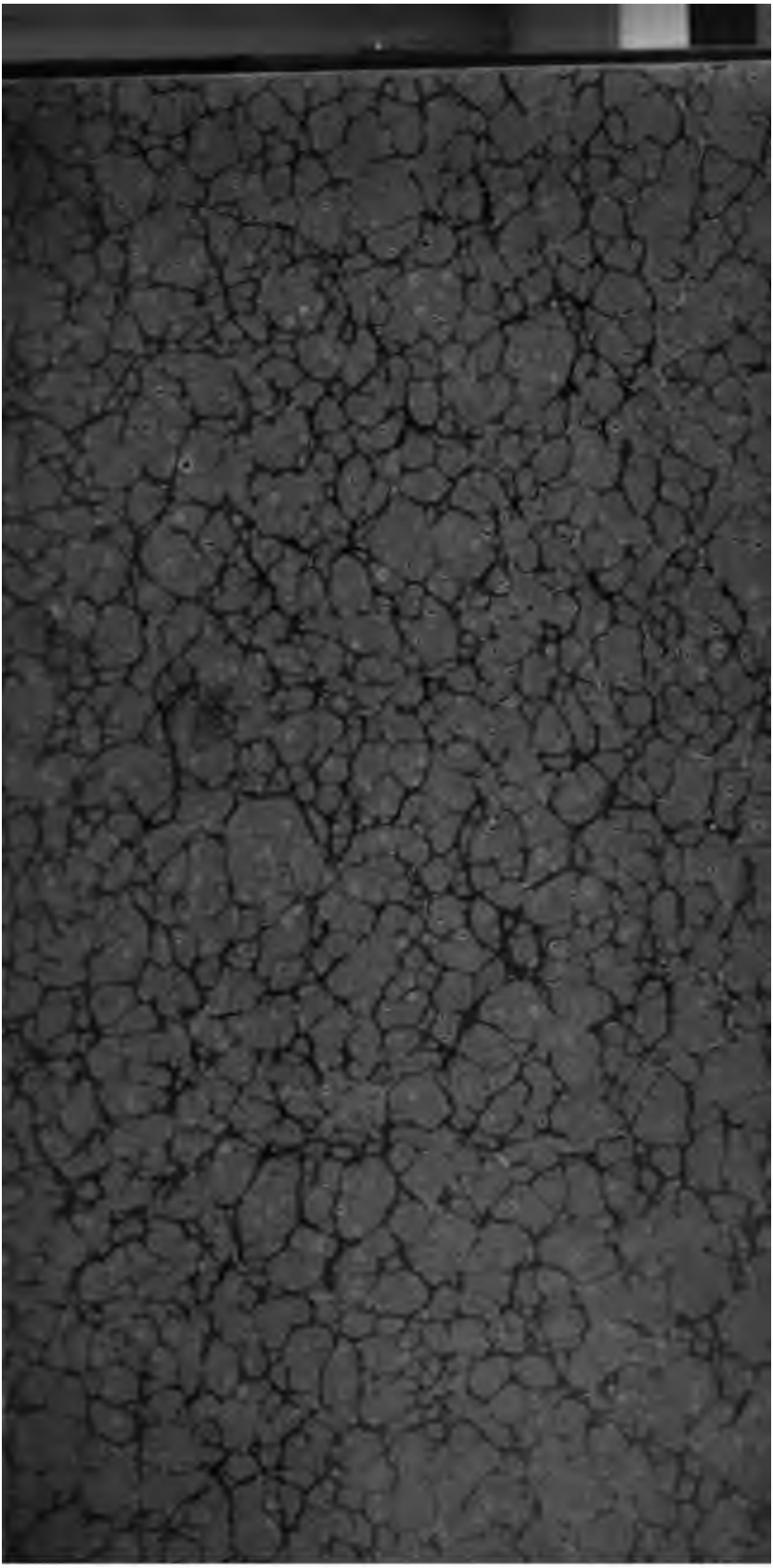
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Phys 3078.54

Bought with
the Gift of
Uriah A. Boyden,
of Boston,
Civil Engineer.
Rec^d 9 March 1859.



[redacted]

TRAITÉ
D'ÉLECTRICITÉ
THÉORIQUE ET APPLIQUÉE

II

CET OUVRAGE SE TROUVE AUSSI

A GENÈVE

CHEZ JOEL CHERBULIEZ, LIBRAIRE

Rue de la Cité

Paris. — Imprimerie de Gustave GRATIOT, rue Mazarine, 30.

TRAITÉ D'ÉLECTRICITÉ

THÉORIQUE ET APPLIQUÉE

PAR

A. DE LA RIVE

PROFESSEUR HONORAIRE DE L'ACADÉMIE DE GENÈVE, DOCTEUR HONORAIRE DE L'UNIVERSITÉ DE PRAGUE
CORRESPONDANT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES ET DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE DE PARIS,
ASSOCIÉ ÉTRANGER DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DE LONDRES;
DES ACADÉMIES DE BERLIN, DE TURIN, DE BRUXELLES ET DE NAPLES,
MEMBRE DES SOCIÉTÉS DES ARTS ET DES SCIENCES NATURELLES DE GENÈVE, ETC.

Avec figures intercalées dans le texte

TOME DEUXIÈME

A PARIS
CHEZ J.-B. BAILLIÈRE
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DE MÉDECINE
RUE HAUTEFEUILLE, 19
A LONDRES, CHEZ H. BAILLIÈRE, 219, REGENT STREET
A NEW-YORK, CHEZ H. BAILLIÈRE, 290, BROADWAY
A MADRID, CHEZ C. BAILLY-BAILLIÈRE, CALLE DEL PRINCIPE, 11

1856

Phys 3078.54.

AVERTISSEMENT

Il y aura bientôt deux ans qu'a paru le premier volume du *Traité d'Électricité théorique et appliquée;* ce long intervalle entre la publication de ce volume et du suivant tient au désir que j'ai eu de ne faire paraître le second, qu'après être parvenu à donner une théorie satisfaisante de la pile voltaïque. J'espère avoir résolu cette question, difficile et contestée, d'une manière qui sera acceptée par ceux qui se sont occupés de ce sujet difficile.

J'ai encore à me justifier sur un autre point : c'est la nécessité où je me trouve de publier un troisième volume. Le développement considérable que j'ai dû donner, à cause de leur importance et du nombre considérable de travaux dont ils ont été l'objet, aux sujets traités dans ce second volume, m'a mis dans l'impossibilité d'y comprendre les applications de l'électricité. Je me suis donc décidé à leur

consacrer un troisième volume, ce qui me permettr
leur donner l'étendue qu'elles méritent.

Ce changement dans mon plan primitif m'a cond
en introduire un second, savoir : l'addition d'une
velle partie aux six dont devait se composer le T
Cette partie, qui sera la sixième, les applications dev
la septième, aura pour objet *les rapports de l'électricit*
les phénomènes naturels, et sera en tête du troisième vol
On peut la considérer comme étant déjà une sorte d'
cation des théories et des phénomènes électriques ex
dans les deux premiers volumes. Elle renfermera l'
de l'électricité produite par les actions physiologique
dans les animaux, soit dans les végétaux; celle de l
tricité atmosphérique et du magnétisme terrestre,
que des phénomènes météorologiques qui en dépen

Sans doute, les points que je viens d'énumérer au
pu être traités dans le chapitre relatif aux sourc
l'électricité ; mais, indépendamment de l'impossibil
j'aurais été, si j'avais adopté ce parti, de m'occupe
un développement suffisant des phénomènes naturel
quels ils sont liés, il est en même temps plus ration
leur consacrer une partie spéciale du *Traité d'Électric*
effet, les sources naturelles de l'électricité ne sont po
même genre que les artificielles (actions calorifiques
caniques ou chimiques) ; ce sont des manifestation
triques dues à la mise en activité par la nature elle-
probablement des mêmes forces, mais sous des
différentes, que celles au moyen desquelles la m
l'homme produit l'électricité. Ce sont donc des phéno

complexes dont l'étude est plutôt une application, comme nous l'avons dit, qu'une continuation de celle des sources électriques.

Le troisième volume contiendra donc deux parties distinctes consacrées : l'une aux rapports de l'électricité avec les phénomènes naturels; l'autre aux applications proprement dites, soit à l'art de guérir, soit aux arts chimiques, soit aux arts mécaniques. Ce volume paraîtra dans le courant de l'année 1856.

Genève, 5 décembre 1855.

ERRATA.

N. B Nous nous bornerons dans l'errata à la correction des fautes graves qui peuvent le sens du texte, sans nous arrêter aux simples erreurs typographiques que le lecteur pe lement rectifier lui-même.

Page	14,	ligne	5, de diaphragmes,	*lisez* : de deux diaphragmes.
—	71,	—	7, d'une même feuille	— d'une mince feuille.
—	71,	—	35, isolant c'est parfait,	— un isolement parfait.
—	98,	—	18, comparée de *s*,	— composée de *s*.
—	106,	—	35, 200 à 10°,	— 20° à 10°.
—	164,	—	21, proportionnelle,	— inversément proportionnelle.
—	168,	—	29, de sa tenacite,	— de sa tenuité.
—	197,	—	1, 35 millim.,	— 15 millim.
—	309,	—	4, le protochlorure d'antimoine,	— le perchlorure d'antimoine.
—	313,	—	10, ou le zinc qui,	— ou le zinc, qui.
—	315,	—	7, celui d'oxyde,	— celui d'acide.
—	327,	—	25, oppose où,	— opposé à celui où.
—	368,	—	26, au-dessus de l'eau,	— au-dessous de l'eau.
—	369,	—	3, au-dessus de,	— au-dessous de.
—	440,	—	5, idiopathique que,	— idiopathique, que.
—	448,	—	26, de 0,600,	— de 0gr., 600.
—	456,	—	16 et 17, Nous allons sommairement examiner ces differentes sources.	— Nous examinerons dans cette ci partie les premières sources.
—	471,	—	2, le metal,	— le cristal.
—	473,	—	9, o *s* d'une,	— *ss* et d'une.
—	498,	—	11, 1000°,	— 100°.
—	501,	—	19, s'appliquer,	— s'expliquer.
—	547,	—	24, d'électricite possible,	— d'électricité produite.
—	626,	—	21, *supprimez* : la proportionnalité entre.	
—	662,	—	35, chlorure d'or,	— chlorure de platine.
—	693,	—	27, trois decimètres,	— trois centimètres.
—	728,	—	16, $i' = \frac{e}{r}$,	— $i = \frac{e}{r}$ (i à la place de i'.)
—	728,	—	20, $i = \frac{e}{r + l'}$,	— $i' = \frac{e}{r + l}$ (i' à la place de i).
—	728,	—	28, $\frac{e}{r + l'}$,	— $\frac{e}{r + l}$ (l à la place de l').
—	741,	—	7 *en remontant* : 8, 10,	— 3, 10.
—	779,	—	22, les forces électromotrices,	— la force électromotrice.

TRAITÉ
D'ÉLECTRICITÉ
THÉORIQUE ET APPLIQUÉE

QUATRIÈME PARTIE
TRANSMISSION DE L'ÉLECTRICITÉ

CHAPITRE PREMIER.
PROPAGATION DE L'ÉLECTRICITÉ.

§ 1. Notions générales sur la propagation de l'électricité.

Après avoir étudié les lois générales de l'électricité, soit à l'état statique, soit à l'état dynamique, nous sommes appelés à nous occuper des phénomènes plus spéciaux qui résultent de la transmission de cet agent à travers différents milieux.

Le caractère fondamental de ces phénomènes, qui les distingue de ceux qui ont fait l'objet de notre étude dans la deuxième et la troisième partie, c'est qu'ils dépendent essentiellement de la nature particulière du milieu que l'électricité traverse, tandis que les autres qui en sont indépendants et demeurent les mêmes, quel que soit ce milieu, constituent les lois générales de l'électricité.

Avant d'aborder l'examen des effets variés et nombreux que produit dans les corps la transmission de l'électricité, nous nous occuperons dans ce premier chapitre de cette transmission elle-même, considérée soit dans la manière dont elle a lieu, soit dans l'influence qu'exerce sur elle le milieu à travers lequel elle s'opère. Quelques notions générales sur la propagation de l'électricité nous serviront d'introduction à cette étude.

Le mot propagation emporte avec lui l'idée de mouvement,

et pour nous l'électricité en mouvement, c'est l'électricité cet état qui résulte de la réunion, soit neutralisation des principes électriques opposés. Nous avons vu que cette réu peut être *continue* ou *instantanée*, que dans le premier ca constitue un courant, dans le second une simple décharge. succession très-rapide de décharges, appelées quelquefois rants instantanés, peut former un courant continu, de r que ce dernier peut être décomposé en une série de cou discontinus au moyen d'un rhéotome. Ce qui caractéri courant qui quelquefois ne dure qu'un instant et est alo temporaire, c'est qu'il agit sur le galvanomètre magné tandis que la décharge, qui est complétement instant n'exerce aucune action sur cet instrument, tout en prod un grand nombre d'autres effets. Quand on veut étudi lois de la propagation, c'est des courants qu'il faut princ ment faire usage, sauf dans quelques cas exceptionnels où ploi des décharges devient nécessaire pour découvrir cer particularités du phénomène.

La manière la plus simple d'envisager la propagati l'électricité, c'est de la considérer dans un corps cond qui réunit les deux pôles d'une pile voltaïque; les deux tricités qui sont constamment dégagées à chacun des pôles se neutralisent d'une manière continue, à mesure q sont produites, à travers le conducteur, et constituent l rant dont nous avons déjà étudié dans la troisième par propriétés extérieures ou les lois générales. Ce courant s pageant dans la masse entière du conducteur, la direct sa propagation est déterminée par la forme même du co teur; elle sera rectiligne si ce conducteur est en ligne curviligne s'il est en ligne courbe.

Quand le conducteur n'a pas des dimensions bien déterm qu'il est à peu près indéfini dans tous les sens, comme le par exemple un bras de mer dans l'eau duquel on plon à une certaine distance l'un de l'autre, les deux pôles pile, le courant se dissémine dans toutes les directions, nous le verrons plus loin, mais en étant toujours assu cette condition que tous les filets infiniment minces da

quels on peut le supposer divisé, aboutissent par leurs extrémités aux deux pôles. On voit par là qu'il est impossible d'assimiler la propagation de l'électricité dans un milieu conducteur à celle de la lumière ou de la chaleur rayonnante; car dans ces deux derniers cas, la propagation émane d'un seul centre rayonnant et a lieu dans toutes les directions en ligne droite, tant du moins que le milieu ne change pas; tandis que, lorsqu'il s'agit de l'électricité dynamique, au lieu d'un seul, il y a deux points qu'on peut considérer également comme centres d'émanation, savoir les deux pôles où se trouvent constamment amenées et d'où partent aussi constamment les électricités contraires dont la réunion forme le courant qui se propage dans le milieu ambiant. D'ailleurs M. Wartmann a démontré par un grand nombre d'expériences que dans sa propagation, l'électricité dynamique n'est susceptible ni de réflexion, ni de réfraction, et que par conséquent toute analogie qu'on voudrait établir entre elle et la lumière ou la chaleur rayonnante est complétement dénuée de fondement.

On peut toutefois se demander si l'électricité à l'état statique et de tension telle qu'elle se trouve sur un corps isolé, n'est pas susceptible de se propager dans le milieu ambiant; il ne s'agirait dans ce cas évidemment que d'une seule électricité, la positive ou la négative. On sait qu'un corps isolé et électrisé perd plus ou moins vite son électricité suivant l'état de l'air ambiant et la faculté isolante plus ou moins grande de son support; Belli et après lui d'autres physiciens ont même prouvé que l'électricité négative se dissipe plus facilement dans les mêmes circonstances que la positive. Or le seul fait que la tension électrique du corps électrisé diminue, prouve que l'électricité se propage hors de ce corps. Il y a plus; Faraday, dans ses recherches sur l'induction statique, a démontré, comme nous avons vu dans le chapitre VI de la deuxième partie, que cette propagation ne s'opère point à distance, mais qu'elle a lieu par l'intermédiaire des corps, même de ceux qui, en apparence, sont les plus isolants; ces corps se polarisent sous l'influence du corps électrisé, c'est-à-dire que chacune de leurs particules présentent les deux électricités séparées l'une de l'autre, de

façon que, si le corps électrisé est positif, les électricités né tives de chaque particule sont toutes tournées du côté du co et les positives du côté opposé; c'est ce qui constitue l'ind tion. Il arrive même quelquefois que les électricités contra des particules contiguës se neutralisent, ce qui détermine véritable transmission de l'électricité, que Faraday appelle c duction par opposition à la simple induction qui, suivant précède toujours la conduction. Il résulte de là que la dist tion entre les corps isolants et les corps conducteurs n'est p absolue, car il arrive également, comme nous le verrons, les conducteurs même les meilleurs opposent toujours une taine résistance au passage de l'électricité, et le retard qu éprouve est du même genre, quoiqu'à un degré bien moin que celui qu'on observe même avec les corps les plus isol tels que le blanc de baleine, la laque ou le soufre.

M. Matteucci, à la suite d'un grand nombre d'expérie faites sur la propagation de l'électricité dans les corps so isolants, a confirmé et étendu les résultats obtenus par Fara Il a constaté dans tous les corps isolants, mais à des degrés férents suivant leur nature, le développement de l'état trique moléculaire dont nous venons de parler, de façon chaque molécule a les deux états électriques contraires loppés sur ses faces opposées. Il a montré également qu états électriques moléculaires peuvent se détruire, et par c quent l'électricité se propager soit à la surface, soit dans l' rieur du corps. Le pouvoir isolant ne consiste donc que la résistance plus ou moins grande opposée par les corp en sont doués à la destruction des états électriques molécu par l'entrée ou la sortie du fluide électrique des molé mêmes; résistance qui dépend de plusieurs circonstanc nant soit à la nature, aux dimensions et aux autres cond physiques du corps, soit à l'intensité de l'électricité do chargé le corps isolé. Nous reviendrons plus loin, en nous pant d'une manière plus spéciale de la propagation de l tricité dans les corps isolants, sur les fait d'où M. Mat tire les conclusions que nous venons de reproduire.

Nous pouvons donc admettre, comme nous l'avons déjà e

démontrément dans le chapitre V de la troisième partie, page 445, que la propagation de l'électricité a lieu dans tous les cas par une neutralisation des électricités opposées des particules du corps à travers lequel la transmission s'opère; neutralisation toujours précédée d'une induction moléculaire, c'est-à-dire de la séparation de ces électricités dans chaque molécule. Dans les corps très-bons conducteurs, ces inductions et neutralisations successives s'opèrent avec une très-grande rapidité; dans les corps isolants elles s'opèrent moins vite et d'autant plus lentement que le corps est plus isolant. On voit donc qu'il n'y a jamais propagation d'une seule électricité, et que la seule différence qui existe entre le cas où le milieu communique avec un seul corps électrisé et celui où il est placé entre deux corps chargés d'électricités contraires, c'est que dans le second il y a un effet double de celui qui a lieu dans le premier; car il est facile de voir que les deux effets doivent s'ajouter, loin de se détruire. En effet, si l'on suppose (fig. 181) deux séries de molé-

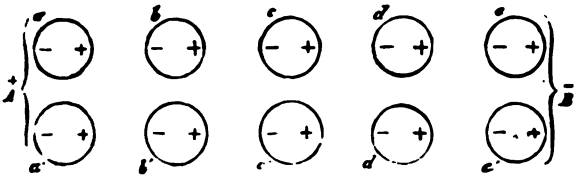


Fig. 181.

cules entre le corps A chargé d'électricité positive et le corps B chargé d'électricité négative, la série des molécules *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, sur lesquelles agit A, sera polarisée exactement comme la série *a'*, *b'*, *c'*, *d'*, *e'*, sur lesquelles agit B; mais en fait les deux séries, ou plutôt toutes les séries de molécules comprises entre A et B, sont soumises à l'action simultanée de A et de B, ce qui doit produire sur elles un effet double de celui qui résulterait de l'action seule de A ou de B. Ce principe est également vrai, qu'il s'agisse d'un courant continu ou d'une simple décharge.

La direction suivant laquelle s'opère la propagation quand il y a en présence deux corps chargés d'électricités contraires, comme les deux pôles d'une pile, est déterminée par la direc-

tion suivant laquelle sont placées les molécules consécutives interposées entre ces deux corps et à travers lesquelles s'opère cette propagation. Quand il n'y a qu'un corps électrisé, c'est le sol ou plutôt le conducteur le plus rapproché, communiquant avec le sol, qui fait l'office du second corps électrisé, ainsi que cela résulte de l'analyse que nous venons de faire du phénomène. Il ne faut pas croire que ce soit toujours dans l'un et l'autre cas les particules qui composent la partie la plus conductrice du milieu interposé qui soient celles uniquement à travers lesquelles la propagation ait lieu; il arrive dans certaines circonstances que cette propagation a lieu aussi à travers les autres. Ainsi M. Harris a remarqué que si l'on fait passer la décharge d'une batterie de bouteilles de Leyde de 25 pieds carrés fortement chargée, à travers un fil de fer fin renfermé dans un réservoir où l'air a été très-raréfié, le fil ne paraît nullement affecté, mais l'air ambiant devient lumineux tandis qu'en faisant rentrer l'air dans le récipient le fil est aussitôt fondu, lors même qu'on emploie une batterie de 5 pieds carrés seulement. Il l'est également dans l'air raréfié si, au lieu d'une batterie de bouteilles de Leyde, on emploie une pile voltaïque. Ces différences tiennent à ce qu'il n'y a rien d'absolu dans la faculté de conduction des corps, et qu'elles dépendent de diverses conditions relatives soit à l'état du milieu, soit à l'origine, c'est-à-dire à l'intensité de l'électricité.

La décomposition et la recomposition des deux électricités dans chaque particule du milieu à travers lequel la propagation de l'électricité s'opère, peut être accompagnée d'effets, soit chimiques, soit calorifiques, soit lumineux, soit physiologiques, suivant la nature de ce milieu et les conditions physiques dans lesquelles il se trouve, et suivant le mode de production de l'agent électrique. Il peut aussi arriver dans quelques cas lorsque le milieu offre une certaine résistance à cette neutralisation des électricités opposées des particules consécutives que ces particules éprouvent un déplacement mécanique, d'où résulte un mouvement dans le milieu s'il est liquide ou gazeux et une rupture s'il est solide. Nous examinerons avec soin ces différents phénomènes, dont l'étude nous fournira une con-

mation de la manière dont nous expliquons le mode de propagation de l'électricité.

Après ce premier coup d'œil général que nous venons de jeter sur la propagation de l'électricité, nous allons d'abord chercher dans le présent chapitre les lois auxquelles elle est soumise dans les bons conducteurs solides et liquides, puis nous déterminerons l'influence qu'exerce sur elle la nature particulière de ces bons conducteurs et les conditions physiques dans lesquelles ils se trouvent. Nous étudierons ensuite cette même propagation dans les solides et liquides qui sont isolants ou plutôt conducteurs imparfaits, ainsi que dans les fluides élastiques et dans le vide. Nous terminerons cet examen par l'exposition des recherches qui ont été faites sur la vitesse même avec laquelle a lieu la propagation; tel est l'objet de ce premier chapitre.

Les effets chimiques, physiques et physiologiques qui accompagnent la transmission de l'électricité seront l'objet des chapitres suivants.

Nous ferons usage, dans l'étude que nous allons aborder, des voltamètres que nous avons décrits dans la première partie de cet ouvrage, ainsi que des galvanomètres magnétiques à la description desquels nous avons consacré le chapitre IV de la troisième partie. Nous emploierons, comme sources d'électricité, soit la machine électrique, soit la pile voltaïque, soit la machine magnéto-électrique qui produit des courants d'induction; ces trois appareils, quoique capables chacun, comme nous le verrons plus tard, de produire l'électricité sous toutes les formes, sont cependant plus particulièrement aptes, la machine électrique, à la produire sous forme de décharges; la pile, sous forme de courants continus; la machine magnéto-électrique, sous forme de courants discontinus. C'est pourquoi nous nous servirons plus volontiers de l'un ou de l'autre des trois appareils, suivant que nous aurons besoin de l'électricité sous l'une ou l'autre de ces trois formes. Nous serons dirigés dans notre choix, également par la nature des corps à travers lesquels nous serons appelés à opérer la transmission de l'électricité et par celle des effets que nous voudrons y produire.

§ 2. Lois de la propagation de l'électricité dans les bon conducteurs.

Nous venons de voir qu'il n'y a pas de conducteur parfai l'électricité dans le sens absolu, mais que tous les corps, m ceux qui paraissent la conduire le mieux, opposent une taine résistance à sa propagation. Toutefois, nous considére comme bons conducteurs tous ceux qui permettent une pr gation de l'électricité assez rapide pour que le courant qu résulte puisse agir sur l'aiguille aimantée, et, par conséqu produire les phénomènes généraux de l'électro-dynamiqu est vrai que cette définition a encore l'inconvénient de n'ètr absolue, car le même corps, l'eau pure, par exemple, peut classée ou n'être pas classée dans les bons conducteurs, sui l'appareil qu'on emploie pour produire l'électricité et sui le mode de communication qu'on établit entre elle et cet a reil, et enfin suivant les conditions physiques dans lesqu elle se trouve. Mais cela nous importe peu, une fois qu'il s seulement de déterminer les lois de la propagation elle-m c'est dans le paragraphe suivant, consacré à l'étude des voirs conducteurs des différents corps, que nous devrons égard à ces anomalies. Il nous importe peu également que pareil dont nous allons nous servir pour la production de l tricité soit d'une espèce ou d'une autre. Les seules condi auxquelles il doive satisfaire, c'est d'être assez puissant nous donner, avec le conducteur dont nous ferons usage courant continu et capable d'agir directement et, au be sans l'emploi du galvanomètre, sur l'aiguille aimantée, et constant pour que ce courant puisse conserver la même i sité pendant la durée des expériences. Une pile de Daniell Grove, de deux ou plusieurs couples comme appareil él moteur, des fils ou des lames métalliques et des solutions s ou acides comme conducteurs, satisfont parfaitement aux ditions voulues.

La première loi que nous rencontrons quand nous étu la propagation de l'électricité dans un conducteur, c'est la dance qu'a le courant électrique à se distribuer ou plutô

ainer dans toute l'étendue de ce conducteur. Cette loi que ablie pour les conducteurs solides en 1824, et pour les es en 1825, peut se démontrer facilement de plusieurs res. Pour la démontrer dans les conducteurs solides, il de prendre une lame de cuivre très-large, de 10 à 15 cen-es, par exemple, et longue de 30, terminée à ses extrémités ux fils également de cuivre placés sur le prolongement de ne qui partage la lame en deux parties égales et destinés ettre dans le circuit voltaïque. On dispose cette lame ver-ment dans la cage d'une balance de torsion dont le fil porte nducteur astatique, et on la dispose de façon que ses dif-tes sections longitudinales soient successivement en face branche verticale de ce conducteur. On dirige le courant ron qu'il aille en sens contraire dans la lame et dans le ducteur mobile, ce qui donne lieu à une répulsion; on te, en prenant la moyenne de plusieurs expériences, que ngles de torsion, nécessaires pour ramener le conducteur le jusqu'au contact avec le conducteur fixe, sont sensible-les mêmes, quelle que soit la portion de ce dernier, qui e sur lui. Si le courant est dirigé de façon qu'il y ait at-ion, on trouve que les angles de torsion, nécessaires pour ber le conducteur mobile du fixe, sont les mêmes, quelle oit la partie de ce dernier qu'on fasse agir sur l'autre. On , pour mesurer leur force d'attraction et de répulsion mu-, les deux conducteurs à une distance presque imperceptible l'un de l'autre, afin d'être sûr que l'action n'est due qu'à nche même du conducteur fixe, qui est située vis-à-vis du cteur mobile, l'action des autres tranches s'exerçant trop nement pour produire un effet appréciable. Il résulte de expérience que l'électricité dynamique paraît se distribuer manière uniforme dans toute l'étendue d'une lame qui rt de conducteur, et donner lieu à autant de courants pa-s et d'égale intensité qu'on peut supposer de tranches ment minces dans la lame rectangulaire.

arrive au même résultat en plaçant horizontalement dans ection du méridien magnétique la lame de cuivre ou une e de mercure à laquelle on peut donner une largeur même

de 20 à 25 centimètres, et en en rapprochant aussi près que p sible une très-petite aiguille aimantée parfaitement horizon et très-délicatement suspendue. La déviation que cette aigu éprouve quand la surface conductrice au-dessus de laquelle est placée est mise dans le circuit est la même, quelle que la portion de cette surface qui agisse directement sur e pourvu que l'aiguille ne soit jamais assez près du bord p que son extrémité se trouve en dehors de la surface.

Ainsi on est conduit à admettre que le courant électrique entrant dans un conducteur solide, se répartit dans toute l'é due de ce conducteur par petits filets parallèles, tous d'é intensité, d'où résulte nécessairement que moins cette éten sera considérable plus le courant électrique sera condens plus, par conséquent, son intensité sera grande dans cha tranche du conducteur, résultat que l'expérience confirme nement lorsqu'on fait usage d'une lame conductrice d'une é seur uniforme, mais plus large dans certaines parties d longueur que dans d'autres. Cette même condensation du rant se démontre par le pouvoir que possède la partie ét de la lame conductrice d'attirer la limaille de fer, tandis qu partie large n'en attire pas la plus légère quantité. C'est, co nous le verrons, à la même cause qu'est dû le développeme chaleur qui accompagne le passage du courant électrique les parties étroites d'un conducteur dont les portions large changent pas sensiblement de température, quoiqu'elles s traversées par le même courant pendant le même temps.

La loi que nous venons d'établir ne se vérifie d'une ma exacte que dans les conducteurs chez lesquels l'une des di sions, la longueur, l'emporte sur les autres, ce qui constit cas de la propagation linéaire. Dans les autres cas, la lo moins simple. M. Kirchoff, qui en a fait une étude particul est arrivé néanmoins à des résultats tout à fait conformes théorie qui explique la propagation de l'électricité [1].

L'électricité dynamique manifeste cette même tendance disséminer, dans un conducteur liquide susceptible d'être

[1] Voyez la note finale A pour l'exposition des recherches de M. Kirchoff.

[illegible]posé aussi bien que dans un conducteur solide ou liquide que le mercure. Voici comment je m'en étais assuré déjà [illegible]. On prend un baquet de 60 à 70 centimètres de diamètre, [illegible] exemple, et de 8 à 10 de profondeur, on le remplit d'eau [illegible]e ou acidulée, et on plonge les deux pôles de la pile à une [illegible]tance chacun de 6 à 8 centimètres du bord, de façon qu'ils [illegible]ent situés sur le même diamètre. Il est bon d'employer comme [illegible]ctrodes les deux sphères de platine de 1 centimètre de diamètre, [illegible] exemple, surmontées chacune d'une tige métallique entou[illegible] d'une couche isolante, qui sert à les fixer et à établir la com[illegible]nication avec les pôles de la pile. Puis on ajuste, à chacune [illegible] extrémités du fil d'un galvanomètre magnétique, une petite [illegible]ge de platine, et, au moyen d'une pièce d'ivoire ou d'un corps [illegible]lant quelconque, on maintient ces deux tiges, qui sont de [illegible]me diamètre et de même longueur, à une distance qui soit [illegible]jours la même, de 5 centimètres, par exemple. On plonge [illegible]tte espèce de fourchette dans diverses parties du liquide tra[illegible]ersé par le courant, en ayant soin que l'étendue de la partie [illegible]mergée soit toujours la même. On perçoit de cette manière [illegible] portion du courant qui traversait la tranche liquide inter[illegible]ptée entre les deux pointes de platine du galvanomètre. On [illegible]uve qu'elle est la plus considérable sur la ligne droite qui [illegible]nt les deux pôles de la pile et entre ces deux pôles; mais [illegible]ue, sur cette ligne même, elle augmente d'intensité à partir [illegible] milieu où elle est la plus faible jusque près des pôles où [illegible]le atteint son maximum. Toutefois on trouve des courants [illegible]ns toutes les parties du liquide, même derrière les pôles, [illegible]-à-dire dans la portion comprise entre chaque pôle et le [illegible]d du baquet. La diffusion des courants est d'autant plus [illegible]noncée que le liquide est moins bon conducteur, en sorte [illegible]il semble que les courants décrivent d'un pôle à l'autre des [illegible]rbes d'un contour plus ou moins grand. Il serait intéressant [illegible] déterminer exactement la forme de ces courbes en cher[illegible]nt, au moyen des sondes en platine, tous les éléments de filets [illegible] ont la même intensité, ce qui permettrait de trouver le po[illegible]ntiel et, par conséquent, la courbe isodynamique, qui va[illegible]rait probablement avec la conductibilité du liquide.

M. Matteucci, qui a publié en 1839 quelques recherches
même sujet, s'était servi également de la même méthode,
en prenant pour sondes des lames au lieu de fils de platin
expériences avaient porté surtout sur l'influence qu'ex
l'étendue et la distance des lames immergées, sur l'intens
courant qu'elles peuvent absorber, et il avait trouvé que
le liquide est conducteur, plus il faut accroître leur surf
leur distance mutuelle pour percevoir un courant de
force. Et si les surfaces immergées des lames sont égales
distance doit être, dans une solution saturée de sulfate de c
vingt fois plus grande que dans l'eau distillée. Quand les
pôles ne sont pas sur la ligne qui partage par le milieu la
liquide, on trouve que le courant absorbé par les sondes,
égale distance de la ligne médiane, mais de deux côtés
rents de cette ligne, est toujours plus fort du côté qui est l
rapproché du bord du canal, c'est-à-dire dans la couch
renferme le moins de liquide. Je dois ajouter que M. Mat
faisait des expériences en se servant d'un double galvano
et de deux systèmes de sonde parfaitement semblables
posés de façon que le courant perçu par l'un était dirigé e
contraire du courant perçu par l'autre, d'où résultait
lorsque les deux courants perçus étaient parfaitement é
l'aiguille du galvanomètre restait en repos, et que le sen
déviation, quand il y en avait une, indiquait lequel de
courants était le plus intense.

La seconde loi à laquelle est soumise la propagation de
tricité dans un conducteur, c'est que deux ou plusieurs co
électriques peuvent se propager dans le même conducteu
se modifier mutuellement, et d'une manière, par conséq
tout à fait indépendante les uns des autres. M. Marianini
staté cette propriété en faisant passer à travers un liquide
dans un vase cubique deux courants disposés de façon
filets dont ils se composent se croisent à l'angle droit, sa
en résulte de variation dans l'intensité de chacun d'eux,
sité qui reste la même, qu'ils traversent chacun séparém
tous deux ensemble la masse liquide conductrice. Un tro
courant peut encore être transmis à travers le même l

rammet déjà les deux autres et dans une direction qui leur rpendiculaire, et cette transmission s'opère de la même re que si ce liquide n'était traversé par aucun courant. indépendance dans la propagation des courants a été enablie en faisant passer deux et même trois courants à trame colonne liquide dans des directions plus ou moins es les unes aux autres, et même en les transmettant à trafil d'un même galvanomètre sur lequel l'effet observé est rs la somme ou la différence des effets individuels des nts partiels.

faits semblent établir au premier abord une grande anaentre l'électricité dynamique et la lumière dont les rayons nt tous se croiser dans le même petit trou sans éprouver indre altération et en conservant chacun leur propriété et caractère propre. Cependant l'analogie est plus apparente telle, car, comme nous l'avons remarqué dans le paragraprécédent, la propagation de l'électricité ne peut être assià un rayonnement, et elle n'en possède en effet aucune opriétés, n'ayant pas une direction rectiligne à elle, n'éasceptible d'éprouver ni réflexion, ni réfraction, ni polan.

troisième loi, qui semble au premier abord également le à l'analogie que nous venons de repousser, est la din d'intensité qu'éprouve l'électricité dans sa propagaravers une masse liquide quand elle rencontre sur sa es lames ou diaphragmes métalliques interposés dans le. Ce phénomène, que j'ai signalé en 1825, se démontre nt en séparant par des lames métalliques, en deux ou rs compartiments distincts, une masse liquide conducée dans un vase rectangulaire de 20 à 30 centimètres neur, aux deux extrémités duquel on plonge les pôles ile. Un galvanomètre placé dans le circuit du courant s, indique, par l'amplitude de ses déviations, que ce cououve une diminution d'intensité sensible par l'interpoun ou de plusieurs diaphragmes métalliques, lors même diaphragme est meilleur conducteur que la couche qu'il remplace. Mais cette diminution est proportion-

nellement d'autant moindre pour un même diaphragme q
nombre des diaphragmes déjà interposés est plus grand e
le nombre des couples dont se compose la pile dont o
usage est plus considérable. Ainsi un courant qui, par l'
position de diaphragmes, n'est plus que de 75°, se trouve r
à 73° seulement par l'interposition d'un troisième, tandis
courant d'une intensité initiale de 75° est réduit à 67° pa
terposition d'un seul diaphragme. M. Marianini et d'autre
siciens, qui ont fait un grand nombre d'expériences sur ce
ont tous confirmé mes conclusions. Cette influence de
phragmes est également accusée par les voltamètres calor
et chimique, aussi bien que par le galvanomètre magné
Ainsi un courant qui, transmis dans l'acide nitrique, a
38° au galvanomètre calorifique placé dans son circuit
accuse plus que 30 quand un diaphragme de platine parta
deux compartiments la colonne d'acide nitrique, et 0° qua
lieu d'un seul il y a deux diaphragmes. Le premier diaphr
qui réduit l'effet calorique à 1/13e de ce qu'il était prin
ment, ne réduit le chimique qu'à 1/5e. En effet, avec le
mètre chimique mis dans le circuit du courant à la pl
calorifique, on trouve qu'il faut 5′ pour le dégagement
certaine quantité de gaz, quand il n'y a pas de diaphr
tandis qu'il faut 25′ s'il y a un diaphragme.

On sait que la lumière et le calorique rayonnant épr
une diminution d'intensité qui est soumise aux même
quand on interpose sur leur route un ou plusieurs diaphr
qui sont plus ou moins susceptibles de les transmettre sou
forme rayonnante; c'est ce qui avait conduit à l'analog
nous avons rappelée il y a un instant. Toutefois ici encore
logie est plus apparente que réelle, car il est facile de s'a
que le phénomène des diaphragmes n'est, quand il s'a
l'électricité, qu'un phénomène de conductibilité. J'avai
remarqué en 1825 que, dès que le diaphragme mét
n'empêche pas complétement les deux portions du liquid
sépare de communiquer entre elles, le courant se dé
grande partie de sa route plutôt que de traverser le diaphr
M. Matteucci a obtenu un résultat plus significatif en p

ı grand baquet rempli d'un liquide conducteur une
ge de 2 centimètres et longue de 10, fermée à ses deux
és par deux lames de platine, tandis que ses deux côtés
longs sont en bois. Après l'avoir remplie du même
onducteur et au même niveau, il la place de façon que
côtés de platine regardent les deux pôles de la pile
lans le grand baquet. L'un des deux systèmes de sondes
é dans la boîte, l'autre en dehors; mais tous deux sont
métriquement par rapport à la ligne qui joint les deux
uand la déviation du galvanomètre, qui est en faveur
me extérieur, est devenue constante, on enlève le sys-
iérieur, ce qui ne change rien à la déviation; preuve
' avait pas de courant transmis dans le liquide intérieur
lte et que le courant, au lieu de traverser les deux lames,
lié sur les flancs de manière à ne se propager qu'à tra-
portion continue du liquide.

donc, indépendamment de la résistance propre qu'op-
liquide et un solide à la transmission d'un courant élec-
me résistance particulière due au seul fait du passage
rant d'un solide dans un liquide ou d'un liquide dans
; c'est cette résistance que nous appellerons *résistance*
ge. Elle a toujours lieu dès qu'un liquide est traversé
urant électrique, puisque pour mettre ce liquide dans
il faut nécessairement employer des conducteurs so-
elés électrodes. Cette résistance au passage ne paraît
i que plusieurs physiciens l'ont cru, être l'effet d'une
particulière tenant à la nature même du courant élec-
mme c'est le cas lorsqu'il s'agit de l'action des écrans
mière et sur le calorique rayonnant. Elle est plutôt le
des phénomènes électro-chimiques qui, en vertu de
décomposante du courant, se passent nécessairement
rfaces des conducteurs solides qui sont en contact avec
les dans lesquels ils transmettent ce courant. Ces phé-
assez complexes que nous étudierons plus loin doivent
de la nature chimique des conducteurs liquides et soli-
ntact et des circonstances diverses qui peuvent modifier
on mutuelle. Et en effet j'avais déjà remarqué, en 1825,

que la résistance au passage est d'autant moindre que le liq
exerce une action chimique plus forte sur le conducteur sol
et j'avais observé plus tard que l'élévation de la tempéra
des électrodes, plus particulièrement de l'électrode négati
diminue également. J'avais même réussi à l'annuler compl
ment en me servant de courants dirigés alternativement en
contraire, tels que ceux qu'on obtient avec une machine
gnéto-électrique ou simplement en plaçant un commutat
soit rhéotrope, dans le circuit d'un courant voltaïque ordin
Dans ce cas, en effet, les courants qui se succèdent alterna
ment produisent, sur les surfaces solides, des effets chimi
alternativement contraires et, par conséquent, qui se neut
sent; et alors, en prenant certaines précautions, telles que d
ployer des courants passablement énergiques et de les faire
céder très-rapidement les uns aux autres, on parvient, co
nous venons de le dire, à annuler la résistance au passage.
reviendrons, dans le chapitre où nous nous occuperons
décomposition électro-chimique des corps, sur cette clas
phénomènes qui en dépendent immédiatement.

Une quatrième loi qui régit la propagation de l'électr
c'est que toutes les parties successives d'un circuit fer
compris l'appareil lui-même qui produit le courant électr
sont parcourues dans le même temps par la même qu
d'électricité, quelle que soit la diversité de leur nature, d
forme et de leur étendue; circonstances qui n'influent qu
la quantité absolue d'électricité qui circule et non sur so
tensité relative dans les différentes parties du circuit. Ai
dans le même circuit on a d'abord la pile, puis un fil de
partant de l'un des pôles et aboutissant dans un liquide et
ou plusieurs fils parallèles partant de ce liquide pour al
à l'autre pôle, la quantité d'électricité qui, sous forme d
rant, traverse la pile elle-même, le premier fil métalliq
liquide et les deux ou plusieurs fils parallèles, est exact
la même. Il est clair que si ce dernier système de condu
se compose de deux fils et que ces deux fils soient parfait
semblables en tout point, la quantité d'électricité qui c
dans chacun d'eux est la moitié de ce qu'elle est dans l

...er ni ; elle serait le tiers s'il y avait trois fils, et ainsi de suite ; mais dans les deux ou dans les trois réunis, elle est en totalité la même que dans le premier fil. Cette loi importante avait été déjà entrevue par Ampère, quand il avait montré que l'action exercée sur une aiguille aimantée est la même, quelle que soit la portion d'un circuit voltaïque, la pile comprise, qui agisse sur elle. M. Becquerel l'avait constatée d'une manière plus précise, en soudant à différents points, puis à distance égale d'un conducteur métallique qui réunit les deux pôles d'une pile, des fils métalliques qu'il mettait en communication avec les extrémités d'un galvanomètre, et en s'assurant que les courants amenés par ces fils étaient égaux en force, deux à deux, quand les portions du conducteur principal interceptées par les deux systèmes de fils soudés étaient elles-mêmes égales.

J'ai moi-même énoncé dans plusieurs occasions le même principe, en l'appuyant sur des faits que j'exposerai dans le chapitre de la cinquième partie, où je traiterai de la théorie de la pile voltaïque. Enfin Pouillet et Fechner ont démontré cette loi d'une manière directe. M. Pouillet plaçait tous les éléments successifs d'une pile thermo-électrique dans le méridien magnétique, ainsi que le conducteur destiné à fermer le circuit, et il s'assurait qu'une aiguille aimantée, placée au-dessus d'une partie quelconque du circuit total, éprouvait toujours la même déviation, quelle que fût cette partie. M. Fechner a obtenu de son côté un résultat semblable, en faisant osciller une aiguille aimantée au-dessus des différentes portions solides d'un circuit voltaïque, placées perpendiculairement à la direction de l'aiguille, et en constatant que ses oscillations s'exécutent dans le même temps, ce qui prouve l'égalité d'intensité du courant dans ces différentes parties. Toutefois il n'a pas vérifié directement par l'expérience que cette égalité s'étend aux conducteurs liquides de la pile, ce qui est cependant généralement admis.

La loi qui nous occupe, admise implicitement par Ohm dans sa théorie de la pile, a été prouvée moins par des expériences directes que par les conséquences qu'on en a tirées et qui ont toujours été vérifiées. Il me paraît cependant nécessaire d'en

donner une démonstration expérimentale positive. Voici la d
cription de l'appareil que j'ai construit dans ce but (fig. 18

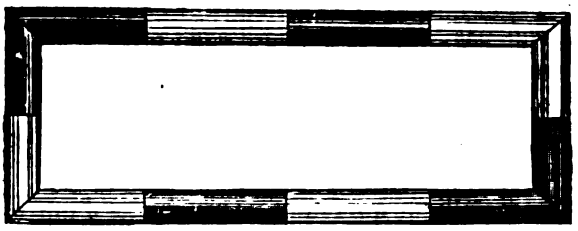


Fig. 182.

Des bouts de tube, tous de même diamètre et parfaitement
librés, sont unis les uns aux autres par des cylindres mé
liques, soit pleins, soit creux, de même diamètre extérieur
les tubes, et présentant une face zinc à l'une de leurs ex
mités et une face cuivre à l'autre. On remplit les tubes
verre de différents liquides conducteurs; on ferme le circuit
moyen d'un tube de verre toujours de même diamètre que
autres, rempli de mercure. On a ainsi un circuit compos
couples voltaïques, de liquides, de conducteurs métallic
vides et pleins, d'une colonne de mercure: en un mot de pa
toutes conductrices et quelques-unes seulement actives, et
la section transversale est la même. Si l'on dispose success
ment les différentes parties de circuit de manière qu'elles so
parallèles au méridien magnétique, une aiguille aimantée
licatement suspendue au-dessus de chacune d'elles exécu
même nombre d'oscillations; l'aiguille n'éprouve aucune
viation quand on la place exactement entre deux parties o
sées de ce circuit, parallèles l'une et l'autre au méridien.
résultats prouvent que la somme des forces électriques qui
versent dans le même temps chacune des sections transver
de ce circuit est bien la même. Il suffit de remplacer le liq
de l'un des compartiments par un liquide moins ou plus
ducteur, pour diminuer ou augmenter l'intensité absolu
courant, non pas seulement dans la partie du circuit qu
modifiée, mais dans tout le circuit également, de manière
sa force demeure toujours la même dans toutes ses por
dans le même instant.

J'ai supposé, dans l'expérience qui précède, que le circuit, quoique hétérogène, est cependant tel que toutes ses sections transversales sont égales. La loi n'en subsiste pas moins quand elles sont inégales. Pour le prouver, il suffit de remplacer le mercure qui est dans le tube par un fil métallique d'un diamètre quelconque, ou homogène, ou composé de bouts de différents métaux soudés les uns à la suite des autres, en ayant soin de mettre le fil dans l'axe du même tube où était le mercure, de manière aussi qu'il ferme le circuit. Si l'on place l'aiguille aimantée au-dessus des différentes parties de ce fil, on la voit exécuter le même nombre d'oscillations que lorsqu'elle est placée au-dessus des différents conducteurs liquides ou solides qui sont dans le reste du circuit. Seulement il faut avoir soin, pour annuler les différences qui pourraient provenir de la diversité des diamètres des différentes parties du circuit, de placer l'aiguille de manière qu'elle n'en soit pas trop rapprochée, mais toujours de façon que partout elle soit à la même distance de l'axe des conducteurs qui agissent sur elle.

Il résulte de cette quatrième loi que l'intensité absolue de l'électricité qui traverse, sous forme de courant, un circuit fermé, ne dépend que de deux circonstances, la force ou les forces qui produisent l'électricité, et que nous pourrons appeler *forces électromotrices*, et les résistances à la conductibilité que présente tout l'ensemble du circuit. Ce second élément, auquel on n'avait jamais eu égard, avait déjà été indiqué par moi, soit en 1825, dans le mémoire auquel j'ai fait allusion plus haut, soit dans les recherches postérieures que j'ai publiées en 1828 et plus tard. M. Ohm, dans un ouvrage important qui a paru en 1827, est arrivé, à la suite de spéculations purement théoriques, à admettre que la force du courant, dans un circuit fermé, est directement proportionnelle à la somme des forces électromotrices qui sont en activité dans le circuit, et que nous appellerons E, et inversement proportionnelle à la résistance totale ou à la somme des résistances de toutes les parties du circuit, que nous désignerons par R; en d'autres mots, que l'intensité du courant est égale à la somme des forces électro-

motrices, divisée par la somme des résistances : $I = \frac{E}{R}$. L'ex rience a confirmé l'exactitude de cette formule dans des lim suffisantes pour l'usage que nous sommes appelés à en fa dans ce chapitre. Nous y reviendrons plus tard, quand n aborderons la théorie de la pile.

Une cinquième loi, qui découle immédiatement de la pré dente, est que, si on augmente ou l'on diminue la résista d'une partie quelconque d'un circuit, l'intensité totale du c rant diminue ou augmente, toutes les autres circonstar restant les mêmes, dans un rapport qui est le même que c qui existe entre la résistance ajoutée ou retranchée et la ré tance totale nouvelle du circuit tout entier.

Si dans la formule $I = \frac{E}{R}$, R devient $R + r$ ou $R - r$, I vient $\frac{E}{R+r}$ ou $\frac{E}{R-r}$; appelant I' l'intensité dans le pren cas et I'' dans le second, on a :

$$I : I' : I'' = \frac{E}{R} : \frac{E}{R+r} : \frac{E}{R-r} = \frac{1}{R} : \frac{1}{R+r} : \frac{1}{R-r}$$

d'où l'on déduit :

$$I - I' : I = r : R + r \text{ et } I'' - I : I = r : R - r,$$

c'est-à-dire que la diminution d'intensité est à l'inter primitive comme la résistance r ajoutée est à la résist totale nouvelle $R + r$ et l'augmentation $I'' - I$ est à l'inter primitive comme la résistance r supprimée est à la r tance nouvelle totale $R - r$.

Fechner a vérifié par l'expérience, au moyen des oscillat qu'exécute une aiguille sous l'action du courant, l'exacti de la loi que nous venons d'énoncer. Il en a conclu qu' pile dont la force électromotrice serait représentée par 1, a ses pôles réunis par un conducteur dont la résistance s également 1, et dans laquelle 9 représenterait la résistanc la pile elle-même, aurait une force représentée par $\frac{1}{9+1} =$ En doublant la résistance du conducteur, il est évident q ne rend pas moitié moindre la force de la pile, qui dev

$\frac{1}{1+1} = \frac{1}{11}$ au lieu de $\frac{1}{10}$ qu'elle était. Si c'est la résistance conducteur interposé entre les pôles qui est 9 fois celle de ile, alors en doublant cette résistance, la force de la pile était égale à $\frac{1}{1+9} = \frac{1}{10}$ devient $\frac{1}{1+18} = \frac{1}{19}$. Il est facile oir d'après cela que plus la résistance du conducteur inter- est grande, moins est grande l'influence de la résistance autres parties du circuit. M. Pouillet est arrivé à la même ication en employant le galvanomètre à tangente, au moyen expériences suivantes. Il prend un couple à force constante aniell, dont il fait parvenir le courant à ce galvanomètre à gente, au moyen de deux tiges de cuivre, puis il fait avec fil de cuivre recouvert de soie des séries de longueurs erentes, de 5, de 10, de 40, 70 et 100 mètres, qu'il enroule ouronne et en les enveloppant d'un ruban, de manière que deux extrémités recourbées en crochet puissent aisément ger dans des godets de mercure destinés à établir la com- nication. On procède ensuite de la manière suivante : on passer directement le courant dans le galvanomètre à tan- te et l'on observe la déviation ; puis l'on introduit succes- ment dans le circuit tous les fils de la série, en notant gneusement les déviations correspondantes, et en se rappe- t que les intensités des courants successifs sont propor- nelles aux tangentes des angles de déviation obtenus. La istance du circuit total (qui est composée des résistances couple, du fil du galvanomètre, et des conducteurs divers tinés à établir la communication), étant R avant que les aient été introduits, cette résistance devient successivement, mesure qu'on introduit les fils de différentes longueurs, $+5^m$, $R+10^m$, etc. Il en résulte le tableau suivant :

Résistances.	Déviations observées.	Tangentes des déviations.
R	62°, 00	1, 880
R + 5m	40°, 20	0, 849
R + 10m	28°, 30	0, 543
R + 40m	9°, 45	0, 172
R + 70m	6°, 00	0, 105
R + 100m	4°, 15	0, 074

En comparant la première observation avec chacune des suivantes, on tire pour R les valeurs $4^m,11$; $4^m,06$; $4^m,01$; $4^m,14$; $4^m,09$, dont la moyenne est $4^m,08$. On se sert pour cela de la formule $I - I' : I = r : R + r$ en mettant à la place de I la valeur 1,880, à la place de I' les valeurs successives 0,849; 0,543, etc.; et, à la place de r, les valeurs correspondantes 5^m, 10^m, 40^m, etc.

Ce résultat montre qu'à de très-légères différences près, qu'on ne peut attribuer qu'à de petites erreurs d'expérience, on obtient la même valeur pour R, quelle que soit celle des observations subséquentes qu'on compare à la première, preuve encore qu'on a bien, $I - I' : I = r : R + r$; car, en remplaçant I par le nombre 1,880, on obtient pour R la même valeur, quand on met successivement pour r, 5^m, 10^m, 40^m, 70^m et 100^m; et pour I' les valeurs correspondantes 0,849; 0,543; 0,172; 0,105 et 0,074. Ainsi, la loi qui nous a donné la formule est bien juste, puisqu'elle conduit, dans tous les cas possibles, à une même valeur pour une quantité qui est en effet nécessairement la même.

La valeur de $R = 4^m,08$, indique que la résistance de tout le circuit primitif, non compris, par conséquent, les fils de cuivre qu'on y ajoute, équivaut à la résistance qu'exerce une longueur de ce même fil de cuivre de $4^m,08$; c'est ce qu'on appelle *longueur réduite*. Ainsi, la longueur réduite d'un circuit est la longueur d'un fil métallique d'une nature et d'une épaisseur données, dont la résistance est égale à la somme des résistances de ce circuit. C'est une manière très-commode d'exprimer la résistance à la conductibilité que présente tout ou partie d'un circuit, que de la ramener à celle qu'exercerait une certaine longueur d'un fil métallique d'une nature et d'un diamètre donnés. Nous verrons dans l'instant le parti qu'on a tiré de ce principe pour la construction d'un appareil très-précieux pour la mesure des courants électriques.

Mais auparavant, nous avons encore à établir deux lois importantes qui découlent implicitement des précédentes, mais qu'on peut démontrer directement. Ces lois sont, que la résistance qu'offre au courant un conducteur quelconque est proportion-

relle à sa longueur et inverse de sa section. Nous avons admis implicitement la première de ces deux lois pour un fil métallique, quand nous avons représenté par leurs longueurs respectives les résistances ajoutées par l'interposition de chacun des fils de 5^m, de 10^m, de 40^m, de 70^m et de 100^m, ayant tous le même diamètre et étant de la même nature. Or, le résultat auquel nous a conduit cette hypothèse appliquée à plusieurs expériences différentes ayant toujours été, comme nous l'avons vu, d'accord avec les faits, nous pouvons la regarder comme une vérité. Cependant notre formule reposait sur une autre hypothèse qu'elle était également destinée à vérifier, savoir l'existence de la cinquième loi relative au rapport entre les variations d'intensité du courant et les variations de la résistance. L'accord de cette formule unique avec les faits suffit-il pour démontrer en même temps, et la loi qui a servi à l'établir, et celle qu'on a admise dans l'interprétation des expériences? On pourrait en douter, s'il n'y avait qu'une seule expérience, mais comme il y en a un grand nombre et que toutes conduisent au même résultat, il faut en conclure que la supposition qu'on a faite de la proportionnalité entre la longueur d'un conducteur et la résistance qu'il offre au courant est bien exacte.

La seconde loi relative à la section peut être vérifiée par une série d'expériences semblables à celles qui nous ont servi à obtenir la loi relative aux longueurs, en mettant successivement dans le circuit des fils de même nature et de même longueur, mais de diamètres différents, et en déterminant dans chaque cas la valeur de la résistance totale ou bien celle de la diminution ou de l'augmentation que cette résistance éprouve par la substitution des fils de diamètres différents les uns des autres.

Davy, Becquerel, Harris, Cumming, et en général tous les physiciens qui se sont occupés de la conductibilité des corps pour l'électricité, ont commencé par prouver que le pouvoir conducteur d'un fil métallique est en raison inverse de la longueur et en raison directe de la section du fil, loi qui est exactement la même que celle que nous venons d'énoncer. Nous ferons connaître les divers procédés de ces physiciens dans la

partie de ce chapitre consacrée à la détermination du pouvoir conducteur des différents corps et à l'étude des causes qui peuvent le modifier.

Il y a entre les deux lois que nous venons d'énoncer une différence importante : la première, celle relative aux longueurs, a besoin d'être prouvée directement par l'expérience; la seconde, celle des sections, est une conséquence de la distribution uniforme de l'électricité en mouvement dans toutes les parties d'un conducteur homogène. En effet, cette distribution qui nous montre que l'électricité dynamique ne se porte pas, comme la statique, à la surface des corps, mais qu'elle se répand dans tout leur intérieur, nous conduit à reconnaître, puisqu'elle est uniforme dans une masse conductrice homogène, que la conductibilité électrique doit croître, et, par conséquent, la résistance diminuer avec le nombre des points, soit avec la grandeur ou l'étendue de la section faite dans le conducteur. Il faut seulement que le conducteur soit nécessairement homogène dans le sens transversal, car, s'il ne l'était pas, la distribution de l'électricité ne serait plus uniforme, et la loi ne pourrait plus évidemment subsister.

La loi des longueurs et des sections s'applique aussi bien aux conducteurs liquides qu'aux solides. Elle est seulement plus difficile à démontrer dans ce dernier cas que dans le premier, parce que, pour mettre le liquide dans le circuit, il faut employer des électrodes de métal, et qu'il y a, comme nous l'avons vu, par le fait du passage du courant du solide dans le liquide et du liquide dans le solide, une diminution d'intensité complétement indépendante de la conductibilité propre du liquide lui-même. Toutefois, on peut se mettre à l'abri de l'effet de cet élément en se servant d'une colonne liquide qu'on allonge ou qu'on raccourcit sans rien changer aux électrodes. Un tube, fermé à une de ses extrémités par un disque de platine qui fait l'office de l'un des électrodes, dans lequel se meut un piston dont la base en platine sert de second électrode, remplit bien le but, puisqu'une fois le tube plein de liquide, on peut, en faisant marcher le piston, allonger ou raccourcir la portion de la colonne liquide qui est mise dans le circuit. Nous décrirons plus en dé-

tail cet appareil, quand nous nous occuperons de la conductibilité des liquides.

Fechner, dans son grand travail dont nous avons déjà parlé, avait déterminé la loi qui lie la résistance du conducteur avec sa longueur, aussi bien pour le conducteur liquide que pour le solide. Il avait trouvé, toujours par la méthode des oscillations, que l'addition de longueurs égales de fils de métal accroît la résistance de quantités égales, d'où il avait conclu que la résistance des fils est proportionnelle à leur longueur. Il était ensuite parvenu à la même loi pour le conducteur liquide, en éloignant successivement d'une quantité, toujours la même, les plaques des couples de la pile; et il avait trouvé ainsi que la résistance des liquides est proportionnelle à l'épaisseur de la couche liquide que le courant doit traverser. Cette loi est également vraie, que la section du liquide soit égale à la surface des plaques des électrodes ou qu'elle soit plus grande. Quant à la loi qui lie la résistance du liquide avec la grandeur de sa section, Fechner a trouvé qu'elle ne se vérifie qu'autant que la surface des électrodes est égale à celle de la section. Ainsi, si l'on place verticalement dans une auge deux plaques métalliques servant d'électrodes, et qu'on verse dans l'auge une proportion croissante d'un liquide conducteur, la résistance totale diminue de quantités correspondantes à la quantité de liquide qu'on ajoute. Mais, une fois que l'étendue de la section du liquide a dépassé d'un certain degré la grandeur de la surface métallique immergée, une augmentation dans la section du liquide ne diminue plus sensiblement la résistance; c'est au moins ce que croit Fechner. Nous verrons plus loin, à l'occasion de la conductibilité du globe terrestre, que cette opinion est juste, mais que la limite à laquelle une augmentation de la section n'exerce plus d'influence sur la résistance ou sur la conductibilité d'un corps dépend d'un grand nombre de circonstances, et en particulier de l'intensité même de l'électricité en mouvement.

Enfin, une dernière loi importante, conséquence également des précédentes et confirmée aussi par l'expérience, est celle qui régit le partage du courant électrique entre deux conducteurs parallèles placés dans le circuit. S'ils sont de même nature, de

même diamètre et de même longueur, conditions que réalisent deux fils métalliques semblables, il est évident que le courant se partage également entre eux. Mais s'ils sont de longueurs différentes, tout en étant de même nature et de même diamètre, que la longueur de l'un soit m et celle de l'autre n, la proportion du courant qui traverse chacun d'eux est inverse de sa longueur, et l'intensité du courant total est la même que si, au lieu de deux fils d'une longueur m et n, on plaçait dans le circuit un seul fil d'une longueur $\frac{mn}{m+n}$ [1]. Généralement, si a et b représentent les résistances respectives de deux conducteurs quelconques interposés parallèlement dans le circuit, la résistance complète des deux conducteurs est la même que celle d'un conducteur unique dont la résistance aurait pour expression $\frac{ab}{a+b}$. Les deux conducteurs peuvent différer par leur nature, leur longueur et leur section, ou par ces trois circonstances réunies. Seulement, il faut qu'ils soient tous deux métalliques ou tous les deux liquides; car, si l'un est métallique et l'autre liquide, la loi ne se vérifie pas, à cause du nouvel élément qui naît de la résistance au passage. Voici une expérience de M. Poggendorff, qui met en évidence cette exception importante à la loi. Il a inséré dans l'axe d'un tube de verre vertical un fil de platine de 80 pouces 5 lignes de longueur, dont la résistance était la même que celle de 86 pouces d'un fil d'argentane; il a rempli ce tube d'acide sulfurique étendu contenant 10 pour 100 d'acide concentré, et il s'est assuré que la résistance de cette colonne liquide, mise seule dans le circuit, était la même que celle de 10 pouces du fil d'argentane, et par conséquent au moins huit fois et demi moindre que celle du fil de platine. Au

[1] En effet, d'après la loi des longueurs, en appelant i' et i'' les intensités des deux courants partiels, qui passent respectivement par les fils de la longueur m et de la longueur n, $i' + i''$ étant égal à i, intensité du courant total, on a :

$$i' : i'' = n : m \qquad i' + i'' \text{ ou } i : i' = n + m : n$$

$$\text{D'où } \frac{i'}{i' + i''} = \frac{n}{n+m}$$

On a aussi : $i' + i''$ ou $i : i' = m : x$, x étant la longueur cherchée;

$$\text{D'où } x = \frac{i'}{i' + i''} \times m = \frac{mn}{m+n}$$

l'un galvanomètre très-sensible, susceptible d'accuser
érence de 1/8 de ligne dans la longueur du fil de pla-
de la colonne liquide, il a constaté que la résistance du
atine déterminée, quand il est seul dans le tube, n'est
minuée quand ce tube est rempli du liquide conducteur,
qu'aucune partie du courant ne passe à travers le liquide
ar conséquent, quoique celui-ci soit beaucoup meilleur
eur que le fil métallique, il ne se fait aucun partage du
entre lui et le fil, comme cela aurait lieu entre deux
et même entre deux conducteurs liquides. On peut
ent s'assurer qu'il n'y a aucune diffusion du courant du
ans le liquide en disposant le fil de platine à travers un
rizontal rempli d'une solution acide et en plongeant
solution, très-près du fil, deux lames de platine en
nication avec les extrémités d'un galvanomètre très-
; si alors on fait passer un courant à travers le fil de
, on n'obtient pas le plus léger effet au galvanomètre.
ernière loi que nous venons d'énoncer nous mène à dire
es mots sur les courants dérivés, dont nous aurons sou-
nous occuper, et dont la théorie est une conséquence de
i. Quand dans un circuit fermé on réunit deux points
rcuit par un conducteur additionnel, on opère ce qu'on
une *dérivation* du courant. Les deux points du circuit
rt et où aboutit le nouveau conducteur se nomment les
de dérivation, et l'intervalle qui les sépare, la *distance*
ation; le conducteur ou fil ajouté est le *fil de dérivation.*
me la portion du courant qui passe par ce fil, *courant*
celle qui continue à passer par la partie du circuit
s entre les deux points de dérivation, *courant partiel;*
n désigne sous le nom de *courant primitif* le courant
il existait avant qu'on eût opéré la dérivation, et de
t principal la totalité du nouveau courant, nécessaire-
lus fort, qui traverse tout l'ensemble du circuit quand
jouté le fil de *dérivation.* Il est facile, d'après les prin-
ue nous avons exposés et les lois que nous avons trou-
de déterminer les intensités du courant principal, du
it dérivé et du courant partiel, en connaissant celle du

courant primitif, la longueur réduite du circuit prim
distance des points de dérivation et la conductibilité o
sistance du fil de dérivation. Nous renvoyons à la not
B la détermination de ces intensités, ainsi que la d
tion des procédés au moyen desquels divers physici
Wheatstone en particulier, ont appliqué les lois qui ré
les propriétés des courants dérivés à la construction d'a
et d'instruments propres à déterminer avec une gran
cision, dans une foule de cas, l'intensité des forces
ques [1]. Nous nous bornerons à décrire ici celui des a
de Wheatstone qui est le plus fréquemment employé;
rhéostat. Il est fondé sur une des lois que nous avon
cées plus haut, savoir, celle que la résistance à la c
tibilité d'un fil métallique homogène est proportionne
longueur.

Le but que l'appareil de Wheatstone tend à remplir
à introduire dans le circuit du courant dont on veut n
l'intensité un fil métallique dont l'interposition prod
résistance connue, puis de faire varier la longueur d
d'une quantité qu'on peut apprécier avec une grande
tude sans rien changer au reste du circuit, de manièr
duire une résistance qui amène le courant à avoir une i
déterminée toujours la même. Cette opération, exécutée
férents courants, donne immédiatement le rapport qu
entre leurs intensités relatives. Le grand avantage qu'e
sente, c'est de permettre de toujours ramener au mêm
les indications du galvanomètre mis dans le circuit, en
varier la résistance, ce qui fait qu'on n'a pas besoin
naître les rapports, qu'on ne peut déterminer que diffic
et jamais exactement, qui existent entre la déviation
guille du galvanomètre et l'intensité du courant cor
dant. On n'a besoin d'admettre que le principe évident
même, que toutes les fois qu'avec le même galvan
on obtient la même déviation, cela indique que
sité des courants qui produisent cette déviation est la

Jacobi et Poggendorff avaient également imaginé u

[1] Voyez la note finale B.

eil analogue à celui de Wheatstone, fondé sur le même principe et remplissant le même but. Dans celui de Poggendorff, le il, dont on fait varier la longueur, est en argentane; dans elui de Jacobi, nommé par son inventeur *volta-agomètre,* il st en platine; dans celui de Wheatstone, le fil est en cuivre ou n laiton. Ces appareils diffèrent entre eux quant aux détails de leur construction; nous nous bornerons à décrire celui de Wheatstone, dont l'emploi nous paraît plus commode et est plus répandu. L'auteur en a construit deux sur le même principe, l'un destiné aux circuits dans lesquels la résistance est considérable, l'autre à ceux dans lesquels elle est faible.

Le premier instrument (fig. 183) est en A; *g* est un cylindre

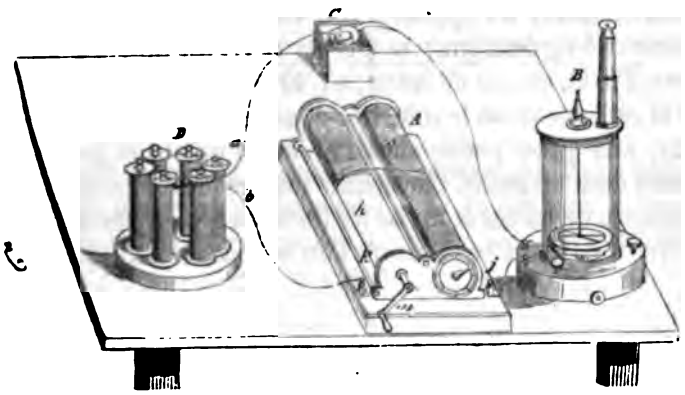


Fig. 183.

de bois, *h* un cylindre de laiton, tous deux du même diamètre et ayant leurs axes parallèles. Sur le cylindre de bois est entaillée une rainure en hélice, et à l'une de ses extrémités est fixé un anneau de cuivre, auquel est attaché l'un des bouts d'un long fil métallique d'un très-petit diamètre. Ce fil, lorsqu'il est enroulé autour du cylindre de bois, remplit toute la rainure, et est fixé par son autre bout à l'extrémité opposée du cylindre de cuivre. Deux ressorts *j* et *k* pressant, l'un contre l'anneau de cuivre du cylindre de bois, l'autre contre l'extrémité du cylindre de cuivre *h*, au moyen de deux vis de jonction, peuvent être mis en communication avec les fils métalliques du circuit. a manivelle mobile *m* sert à faire tourner les cylindres sur leurs

axes. Lorsqu'elle est adaptée au cylindre *h* et tournée de gauch à droite, le fil métallique se déroule de dessus le cylindre d bois, et s'enroule sur le cylindre de cuivre; mais lorsqu'o l'adapte au cylindre *g* et qu'on la tourne de droite à gauch le contraire a lieu. Les circonvolutions sur le cylindre de bo étant isolées et séparées l'une de l'autre par la rainure, le cou rant suit la longueur entière du fil enroulé sur ce cylindre, ma les circonvolutions sur le cylindre de cuivre n'étant pas isolée le courant passe immédiatement du point du fil en contact av le cylindre au ressort *k*. La partie efficace de la longueur du f métallique se réduit donc à la portion variable enroulée sur l cylindre de bois. Dans l'instrument que M. Wheatstone emploi ordinairement, les cylindres ont 15 à 16 centimètres de lon gueur et 4 de diamètre; le filet de la vis est de 1/20 de milli mètre; le fil, qui est de laiton, a 1/40 de millimètre de diamètr Le fil est, comme on le voit, très-mince et très-mauvais condu teur, afin qu'on puisse ainsi introduire une plus grande rés stance dans le circuit. Une échelle mesure le nombre des circo volutions déroulées et divise les fractions de circonvolution, moyen d'un index fixé à l'axe de l'un des cylindres qui parcour les divisions d'un cercle gradué. Il en résulte qu'on peut co naître la longueur exacte de la portion de fil qu'on introd dans le circuit, ainsi que la valeur des variations qu'on fait sub à cette longueur. La figure 3 montre la disposition de l'appar quand il sert à une expérience. B est un galvanomètre très-se sible, à aiguille astatique, portant un miscroscope pour lire divisions du cercle, ce qui facilite grandement les observatio C est un couple voltaïque dont on veut mesurer la force él tromotrice; D sont des bobines de fils métalliques recouverts soie dont on introduit un plus ou moins grand nombre dans circuit pour augmenter la résistance. Nous verrons dans la c quième partie, consacré à l'étude des sources de l'électrici comment on peut facilement arriver, avec le rhéostat, à détermination des forces électromotrices [1].

[1] M. Rumkorff construit actuellement à Paris des rhéostats dans lesquels cylindre de bois est remplacé par un cylindre de verre à rainures, ce qui pr sente beaucoup plus de sécurité dans l'emploi de l'instrument.

Le rhéostat A, destiné aux circuits dans lesquels la résistance est comparativement faible, est (fig. 184) un cylindre de bois *a*

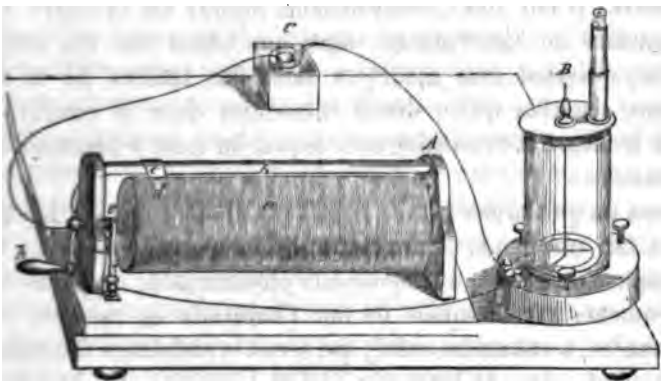


Fig. 184.

bien sec, sur la surface duquel une rainure est creusée en hélice; un gros fil de cuivre est enroulé autour du cylindre, occupant la rainure et formant comme le filet d'une vis. Immédiatement au-dessus du cylindre, et parallèlement à son axe, est placée une barre métallique triangulaire *b*, portant un curseur *c*; à ce curseur est adapté un ressort *d*, qui presse constamment contre les spires du fil de cuivre, cédant à toutes les petites inégalités. L'un des bouts de l'hélice métallique est attaché à un anneau de laiton *e*, contre lequel presse un ressort qui est en communication, au moyen d'une vis de jonction, avec l'une des extrémités du circuit; l'autre extrémité du circuit est retenue par une vis semblable, se trouvant en connexion métallique avec la barre triangulaire de métal. En tournant la manivelle *b*, on fait mouvoir le cylindre sur son axe dans l'une ou l'autre direction; et le curseur *c*, guidé par le fil de cuivre, glisse le long de la barre, avançant ou reculant suivant que le cylindre tourne à droite ou à gauche. Le curseur venant à se mettre en contact avec un point différent du fil de cuivre, une résistance différente est introduite dans le circuit, occasionnée par la seule portion du fil comprise entre le curseur et le bout qui est en

communication avec le ressort. Le cylindre de l'instrument construit par M. Wheatstone a 28 centimètres de longueur et 9 de diamètre; le fil est de cuivre, de 2 millimètres environ de diamètre; il fait 108 circonvolutions autour du cylindre. Les dimensions de l'instrument, ainsi que celles des fils métalliques, peuvent être modifiées selon les limites de la résistance variable qu'on désire introduire dans le circuit, et selon le degré d'exactitude avec lequel on tient à mesurer ces variations.

Nous ne quitterons pas ce sujet sans ajouter que M. Jacobi, qui a fait une étude approfondie des moyens de mesurer les courants électriques, a proposé aux physiciens de rapporter les instruments avec lesquels ils ont l'habitude de mesurer les résistances, à une même unité, qui serait la résistance d'un fil de cuivre de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre de diamètre. Mais comme tous les cuivres ne sont pas identiques, il faudrait choisir arbitrairement un fil quelconque et le faire voyager d'un physicien à l'autre. C'est ce qu'a déjà essayé de réaliser M. Jacobi. Peut-être ce qui vaudrait le mieux, ce serait d'employer le mercure comme étalon de résistance pour la construction des rhéostats ou des agomètres, comme les appelle M. Jacobi. Le mercure en effet a le grand avantage de pouvoir, au moyen de la distillation, être amené à un état de grande pureté, et d'être, par conséquent, toujours identique à lui-même; il n'a pas l'inconvénient d'avoir, comme les fils métalliques, une structure moléculaire variable, puisqu'il est liquide. Il ne s'agirait plus, ce qui n'est pas difficile, que de lui donner des dimensions toujours les mêmes. Au reste, M. Jacobi a déjà lui-même construit un agomètre avec le mercure, et il paraît avoir réussi à mesurer les résistances au moyen de cet appareil, avec une précision qui permet de diminuer l'erreur probable jusqu'à la cent millième partie de la résistance totale.

2. Conductibilité électrique des solides et des liquides.

ous avons vu qu'il n'y a pas de conducteur parfait, mais tous les corps présentent à la propagation de l'électricité résistance plus ou moins grande. Nous avons regardé me possédant ce que nous appelons la conductibilité élec- ne ceux qui permettent à l'électricité une propagation assez de pour qu'il en puisse résulter l'état dynamique, accusé l'action sur l'aiguille aimantée. Ainsi, tandis que la ré- nce à la propagation de l'électricité serait une propriété rale des corps, la conductibilité, telle que nous l'entendons, partiendrait qu'à un certain nombre d'entre eux. Ce n'est à dire que toutes les substances, même les plus isolantes, puissent transmettre plus ou moins l'électricité ; mais il faut r celles que nous appelons isolantes, telles que le verre, les nes, la gutta-percha, les huiles, l'air atmosphérique, une rce électrique d'une très-grande intensité. Et même avec la rce la plus énergique, comme la foudre, par exemple, ces stances ne transmettent point l'électricité sous la forme qui stitue ce que nous avons appelé l'état dynamique ; mais elles ropagent, ou trop lentement pour agir sur l'aiguille ai- ntée, ou trop instantanément en se brisant elles-mêmes sous ion de la décharge, pour qu'il puisse y avoir un courant prement dit.

a recherche qui doit nous occuper dans ce moment n'a pour t que les corps doués de la conductibilité électrique, telle nous venons de la définir. Cette conductibilité qui, comme s l'avons vu, n'est jamais absolue, varie, ainsi que nous ons établi, avec les dimensions des corps, mais de plus elle e aussi avec leur nature et avec différentes circonstances siques. Ce sont ces influences que nous voulons apprécier, et ne mesurer, de manière à donner un tableau aussi exact possible des degrés de conductibilité relative des diverses stances, soit solides, soit liquides, ainsi que des variations amènent dans leurs pouvoirs conducteurs des changements

dans leur constitution physique et dans leur température en particulier.

La détermination de la conductibilité spécifique des différents corps n'est pas un problème facile à résoudre. Sa solution repose sur des principes assez délicats et exige des appareils doués à la fois d'une grande sensibilité et d'une extrême précision. Il faudrait, pour parvenir à cette solution, avoir une source constante d'électricité telle que la tension des deux électricité y fût constamment la même, et de plus avoir un moyen de mesurer exactement la quantité d'électricité qui circule à l'état dynamique, dans un temps donné, à travers un conducteur quelconque. Puis, pour établir une comparaison, on chercherait à obtenir la quantité d'électricité qui traverse dans l'unité de temps une section infiniment mince de chacun des corps, et on la diviserait par la surface de la section, ce qui donnerait la quantité d'électricité qui traverse dans l'unité de temps l'unité de surface.

Le principe de cette méthode est tout à fait le même que celui sur lequel repose le procédé employé pour la détermination de la conductibilité pour la chaleur. Or, si on étudie de près ce qui se passe dans la propagation de l'électricité à travers un corps conducteur, on trouve cette assimiliation parfaitement légitime, ainsi que le prouvent des expériences récentes de Kohlrausch, que nous allons rapporter brièvement.

On réunit les pôles d'un couple voltaïque à force constante, tel qu'un couple de Daniell, par un fil métallique très-fin et passablement long, qui est replié en zigzag, de manière que les côtés des angles formés par les zigzags soient tous de même longueur. On met un point *a* du fil conducteur en communication avec le sol, et on fait ensuite communiquer avec un condensateur sensible, d'abord un point *b* du fil pris à une certaine distance de *a* du côté du pôle positif, et ensuite un point *b'* pris à la même distance de *a*, mais du côté du pôle négatif. On obtient la même tension; seulement, celle du point *b* est positive, et celle du point *b* négative; les deux tensions vont en augmentant à mesure qu'on prend les points *b* et *b'* plus loin de *a*.

Si les deux pôles sont unis par deux fils de même nature,

par exemple d'argent, de même longueur mais de diamètres différents, et soudés bout à bout de manière à ne former qu'un seul fil continu, la tension électrique augmente dans chacun des fils dans la même progression, à partir de leur point de contact, qu'on fait communiquer avec le sol; seulement, les tensions absolues dans chacun des fils sont inverses des sections. Quand, au lieu de deux fils de même nature, on en prend deux de nature différente mais de même diamètre, par exemple, un fil d'*argentane* et un de *cuivre*, de telle sorte que le premier présente une grande résistance au courant et le second une beaucoup moindre, on trouve que les tensions absolues aux extrémités de chaque fil sont proportionnelles à leurs résistances respectives, déterminées au moyen du rhéostat que nous avons décrit dans le paragraphe précédent.

On obtient les mêmes résultats en se servant d'un conducteur liquide. Une auge pleine de sulfate de cuivre, dans laquelle plonge une plaque de cuivre, renferme une cellule poreuse remplie de sulfate de zinc avec une lame de zinc immergée. Les deux plaques sont réunies par un fil métallique. L'auge est divisée en parties égales, et on plonge dans le liquide, en différents points, deux fils de cuivre dont l'un communique avec le sol et l'autre avec le plateau supérieur du condensateur. On trouve comme avec le conducteur métallique, de part et d'autre du point qui communique avec le sol, des tensions positive et négative égales. On peut même s'assurer, dans ce cas, ce qu'on ne peut faire avec un conducteur solide, que la tension est la même dans tous les points de la section transversale; ce qui confirme la loi que nous avons établie, dans le paragraphe précédent, sur la distribution uniforme de l'électricité dynamique dans toute la masse d'un conducteur homogène. Il faut dans ces expériences que les fils servant de sonde soient recouverts dans toute leur étendue, sauf à leur extrémité, d'un vernis à la gomme laque, de façon à ne prendre que l'électricité du point même avec lequel cette extrémité est en contact. Il résulte donc de ces expériences que, même dans les meilleurs conducteurs, la résistance à la propagation de l'électricité est assez grande, pour qu'entre deux couches transversales consé-

cutives il y ait une différence de tension électrique, la couche la plus rapprochée de la source électrique ayant une tension plus forte que celle qui en est la plus éloignée. C'est cette différence correspondante, pour différents conducteurs à une même distance entre deux couches prises sur chacun, que Ohm appelle la chute électrique; et les expériences qui précèdent démontrent que cette chute est directement proportionnelle à la résistance spécifique des métaux, et inverse de leurs sections.

On peut même, au moyen de ces lois, déterminer par un simple calcul l'état électroscopique de chaque point d'un circuit. Soit en effet e la force électromotrice mise en jeu dans le circuit, l la longueur réduite du circuit, et l' la longueur également réduite du conducteur qui sépare un point a du circuit du point où agit la force électromotrice; on a e' l'état électroscopique du point a, égal à $\frac{l'}{l}e$, ce qui signifie que, pour avoir la tension d'un point, il faut multiplier la force électromotrice par le rapport qui existe entre la longueur réduite de la partie du circuit comprise entre le point dont il s'agit et le point mis en communication avec le sol, et la longueur réduite du circuit tout entier. L'expérience vérifie complétement cette formule, ainsi que M. Kohlrausch l'a encore prouvé en unissant la plaque de zinc à la plaque de cuivre de la dernière expérience par un long fil très-fin de métal, plié en zigzag. Il a déterminé la tension électrique des différents points de ce fil et de la solution de sulfate de cuivre qui faisait dans ce cas, comme dans le précédent, partie du circuit. Le pôle négatif communiquait avec le sol, et les divers points touchés étaient d'abord trois points pris sur le fil conjonctif à des distances croissantes de la lame de zinc, soit du pôle négatif, puis le point de contact de la lame de cuivre avec le fil conjonctif, puis trois points pris dans le sulfate de cuivre à 2,02, à 4,02 et à 8 pouces de la même plaque de cuivre. Voici le tableau des tensions calculées et observées, mises en regard des valeurs respectives des résistances ou des longueurs réduites déterminées par le rhéostat, pour les parties du circuit comprises entre le pôle négatif et le point touché:

Points touchés.	L.	Tensions calculées.	Tensions observées.
a	118.5	0.93	0.85
b	237	1.86	1.85
c	355.5	2.89	2.69
d	474	3.73	3.70
e	610.3	4.80	5.03
f	745.3	5.86	5.99
g	879	6.90	6.93
h	1014	7.98	7.96

ıs pouvons donc considérer chaque couche transversale conducteur homogène comme chargée de quantités diffé- ; d'électricité sur ses deux faces, mais réparties uniformé- sur chacune d'elles; quantités qui, pour une source élec- ›trice constante, diffèrent d'autant plus que la résistance couche à la propagation de l'électricité est plus grande. termination de cette différence pour des couches de même ue, appartenant à des conducteurs de nature diverse, don- t la mesure de leur résistance et par conséquent de leur ıctibilité électrique. Mais ce procédé, d'une application lifficile, ne serait pas non plus susceptible d'une exacti- assez rigoureuse. Toutefois, l'analyse qui nous y a conduit permet d'en employer un autre plus pratique et plus déli- ıue nous exposerons dans l'instant.

nous rapprochons les résultats que nous venons d'obtenir ›nsidérations que nous avons exposées, soit au commence- de ce chapitre, soit précédemment, sur la manière dont re la propagation de l'électricité par la polarisation des :ules consécutives, nous pouvons en conclure que la résis- à la conductibilité n'est pas autre chose que la somme des ances qu'opposent les particules successives à leur polari- n électrique et à la neutralisation de leurs électricités con- es. Chaque particule ou molécule physique possède comme force coercitive ou isolante plus ou moins grande, qui s'op- à la séparation des deux électricités chez elle; puis, cette ration opérée, il existe une résistance à la réunion des élec- tés contraires de deux particules consécutives, soit à cause leur distance mutuelle plus ou moins grande, soit à cause

de leur nature même plus ou moins coïbente. Or, pour qu'il y ait propagation de l'électricité, il faut que la résistance à la séparation et la résistance à la réunion soient également surmontées. La première tient à la nature même des particules, la seconde tient à la fois à leur nature et à leur mode d'agrégation. C'est en tenant compte à la fois de ces deux éléments si différents qu'on peut expliquer que la même circonstance extérieure, par exemple l'élévation de température, puisse dans certains cas favoriser la conductibilité et dans d'autres cas la diminuer, selon qu'elle agit sur les particules mêmes ou sur leurs positions relatives. L'état électrique des particules d'un mince filet peut être assimilé à celui d'une succession de bouteilles de Leyde, ou mieux de carreaux étincelants qui se chargent tous mutuellement par influence, sauf le premier et le dernier, qui sont respectivement en communication directe avec une source d'électricité positive et une de négative. Arrivées à un certain degré de tension, les armures opposées des bouteilles ou des carreaux consécutifs se déchargent les unes sur les autres. Il en résulte une décharge générale d'une intensité uniforme dans tout le système, et un excès d'électricité sur chaque bouteille ou carreau qui va en augmentant jusqu'aux carreaux extrêmes, excès qui est positif pour ceux qui sont du côté de la source positive, et négatif pour ceux qui sont tournés du côté de la source négative. L'intensité de cet excès doit dépendre du degré de résistance plus ou moins grand que les électricités contraires des armures opposées éprouvent à se réunir, et plus il est considérable, moins la décharge ou le courant sont forts. Cette succession de charges et de décharges qui, dans une série de bouteilles de Leyde, exige un certain temps pour s'opérer, a lieu instantanément dans une série de particules; c'est ce qui fait que le courant est continu et que l'état de tension des différentes molécules est constant, conformément aux observations de M. Kohlrausch.

Il est probable que les effets de chaleur, de lumière et de secousses physiologiques qui accompagnent presque toujours la transmission de l'électricité dynamique, sauf dans les cas où la résistance est très-faible, sont intimement unis avec les deux

causes de résistance que nous avons indiquées. Quant aux décompositions chimiques, elles doivent tenir essentiellement à l'arrangement que la polarisation des particules détermine dans le mode de groupement des atomes dont elles se composent, et dans les perturbations que les décharges qui suivent la polarisation apportent à cet arrangement.

Nous devons remarquer que la manière dont nous envisageons la conductibilité électrique diffère notablement du point de vue de M. Faraday, qui, partant du principe que l'espace qui sépare les particules des corps n'est pas conducteur, puisque, s'il en était autrement, l'espace étant partout identique, les corps devraient être tous également conducteurs, en avait tiré une conséquence contraire à la théorie atomique. En effet, regardant la continuité comme une condition essentielle de la conductibilité électrique, et par conséquent considérant comme indispensable que l'espace intermoléculaire soit conducteur, puisque c'est la seule partie continue d'un corps, il avait conclu que la théorie atomique est fausse, puisqu'elle conduit à admettre à la fois que cet espace doit être conducteur et qu'il ne doit pas l'être. Quant à nous, c'est à la molécule seule que nous attribuons la propriété d'être plus ou moins conductrice ou isolante; la conductibilité n'est que le résultat de la facilité plus ou moins grande qu'ont les particules consécutives à se polariser à travers l'espace qui les sépare, et qui est nécessairement isolant. Nous pouvons ainsi concilier de la manière la plus satisfaisante les phénomènes de la conductibilité électrique avec la théorie atomique, établie si solidement par l'étude des phénomènes chimiques et physiques.

Après ces notions préliminaires, qui nous ont paru indispensables pour pouvoir se faire une idée juste de la conductibilité électrique, nous passerons à la description des procédés les plus propres à déterminer exactement le pouvoir conducteur des différents corps solides et liquides.

Priestley, et après lui Harris et Riess, ont proposé de déterminer le pouvoir conducteur des différents métaux, en faisant passer la même décharge électrique à travers des tiges ou des fils de même diamètre et de même longueur, mais de nature

différente, et en concluant leur conductibilité relative du deg de réchauffement plus ou moins grand qu'ils éprouvaie Wilkinson a fait usage de la même méthode, mais en rempl çant la décharge par un courant électrique. Ce mode de déte mination repose sur le principe que le degré de réchauffem qu'éprouve un fil, par le passage d'une quantité donnée d'éle tricité, est inverse de sa conductibilité électrique ; principe q ne peut être admis *à priori*, car il ne peut être établi qu'aut qu'on a un moyen direct de déterminer la conductibilité, il ne peut pas par conséquent servir à la déterminer.

La même objection est applicable à la méthode de Chris fondée sur le principe que l'intensité des courants d'induct est proportionnelle, toutes les autres circonstances restant mêmes, au pouvoir conducteur de la substance soumise à l'i duction. Faraday avait en effet remarqué, dès l'origine de découverte de l'induction, que les courants induits dévelop dans des hélices faites avec des fils de même diamètre et même longueur, mais de nature différente, ont une inten d'autant plus grande que le pouvoir conducteur des fils plus considérable. Mais il y a encore ici, dans l'emploi de ce méthode, pour déterminer la conductibilité, un cercle vici qui ne nous permet pas d'en faire usage dans ce but.

Davy s'était servi d'un moyen plus direct, et qui l'avait co duit à des résultats qui ont été en grande partie confirmés des méthodes plus exactes. Il prenait des fils de divers méta de même longueur et de même diamètre, et cherchait comb chacun d'eux pouvait décharger de couples voltaïques. P s'assurer si un fil déchargeait entièrement plusieurs couples ajoutait deux autres fils en argent aux deux pôles de la p et les faisait plonger dans de l'eau conductrice, qui était déc posée si tout le courant ne passait pas par le fil principal ; l'a sence de tout dégagement de gaz était le signe que ce fil opé entièrement la décharge. Cependant, en vertu de sa tenda à la dissémination, le courant devait toujours passer à trav l'eau dans une certaine proportion, trop petite, il est vrai, po que la décomposition fût sensible. Malgré les imperfections ce procédé, Davy avait réussi à établir directement les deux l

nérales de la conductibilité, savoir : que les pouvoirs conducteurs sont en raison inverse des longueurs, et en raison directe des sections des fils métalliques qui conduisent l'électricité.

M. Becquerel père avait, le premier, employé un procédé plus exact, qui consiste à faire usage du galvanomètre différentiel, et qui lui permettait de se mettre ainsi à l'abri des variations d'intensité du courant électrique. Il obligeait le courant à se partager entre les deux fils du galvanomètre, de manière que chacune de ses deux portions cheminât en sens inverse, et maintînt l'aiguille aimantée au zéro lorsqu'elles étaient égales. Introduisant dans ces deux circuits partiels des fils de différente nature et de même diamètre, il pouvait toujours, en les raccourcissant ou en les allongeant, ramener l'aiguille au zéro, et juger ainsi quelles étaient les longueurs des fils métalliques équivalentes en conductibilité. Il avait vérifié également, de cette manière, les lois que Davy avait déjà trouvées d'une façon approximative, et avait déterminé les pouvoirs conducteurs relatifs des différents métaux.

M. Pouillet avait fait plus tard usage d'une méthode analogue, avec cette différence, qu'il employait deux sources électriques parfaitement égales, dont les courants passaient en sens contraire dans les deux fils du galvanomètre différentiel ; un fil de platine servait de fil étalon : c'est à sa conductibilité qu'on comparait celle du fil d'épreuve, en lui donnant une longueur qui affaiblît son courant autant que l'interposition du fil d'épreuve affaiblissait le courant obligé de le traverser.

Les résultats numériques obtenus par M. Pouillet, quant aux pouvoirs conducteurs des différents métaux, ne concordent pas avec ceux de M. Becquerel, ce qui peut tenir à quelques différences dans la constitution moléculaire et dans le degré de pureté des échantillons soumis à l'expérience, circonstances qui ont une grand influence sur la conductibilité électrique, ainsi que l'a démontré M. E. Becquerel, qui a repris dernièrement cette question, en apportant à son étude une grande précision. C'est également le galvanomètre différentiel qu'il a employé, mais il a eu soin d'apporter à sa construction la précaution indiquée par Pogg dorff, de tourner les deux fils du galvano-

mètre l'un autour de l'autre, afin que si les deux courant égaux passent en sens inverse dans l'instrument, leur action soit bien la même, et que l'aiguille reste parfaitement au zéro. M. E. Becquerel a fait en outre usage du rhéostat de Wheatstone dont le fil, auquel on peut donner la longueur que l'on veut, fait constamment partie de l'un des circuits du galvanomètre différentiel, tandis que le fil dont on cherche le pouvoir conducteur fait partie de l'autre. La roue dentée du rhéostat porte 108 divisions, et on peut estimer le dixième de chaque division, de sorte que la circonférence d'une des spires de l'hélice étant de 236 millimètres, on peut mesurer l'allongement ou le raccourcissement du fil de laiton de l'instrument à $\frac{1}{1000}$ de 236 millimètres, soit à 0 $^{mill.}$, 2 près. Le fil métallique dont on veut trouver le pouvoir conducteur est tendu entre deux pinces en cuivre attachées à deux montants, et placées à une distance l'une de l'autre telle que le fil a 1^{m} 50 de longueur. Une règle en cuivre rouge très-massive est fixée solidement au-dessus du fil et parallèlement à sa longueur; sur cette règle divisée glisse à frottement un montant en cuivre, qu'à l'aide d'une vis on peut arrêter dans une position déterminée. L'extrémité supérieure de ce montant est formée d'une pince épaisse qui prend le fil en un de ses points, de sorte qu'en promenant le montant le long de la règle, on met dans le circuit une longueur quelconque qu'on mesure avec une grande exactitude. On peut négliger la conductibilité de la règle par rapport à celle du fil, vu ses dimensions considérables. Voici, du reste, la figure de l'appareil dans son ensemble (fig. 185). HH′ est le galvanomètre différentiel; FF′ le couple voltaïque qui sert à l'expérience; EE′ le rhéostat avec M sa manivelle, qui fait mouvoir les deux cylindres de cuivre et de bois, de manière que le fil s'enroule autour de l'un pendant qu'il se déroule sur l'autre; RR′ les deux montants qui portent les pinces AA′, entre lesquelles le fil d'épreuve est tendu; *ab* la règle de cuivre divisée, et *cC* le montant métallique qui glisse à frottement juste le long de cette règle, de manière à mettre dans l'un des circuits partie la longueur CA du fil soumis à l'expérience. Le courant parti de *c* se partage entre les deux conducteurs *cD* et *cO*, de m

aser, la première partie, à travers le fil du rhéostat DD′,
à aller par le conduc-
' traverser l'un des fils
nomètre, la seconde
travers les conducteurs
P″, pour de là arriver,
upport eC, au fil d'é-
A, et cheminer ensuite
au second fil du galva-
; puis les deux cou-
près avoir traversé en
traire les deux fils du
nètre différentiel, se
nt en G, et trouvent là
ucteur Gz qui ferme le

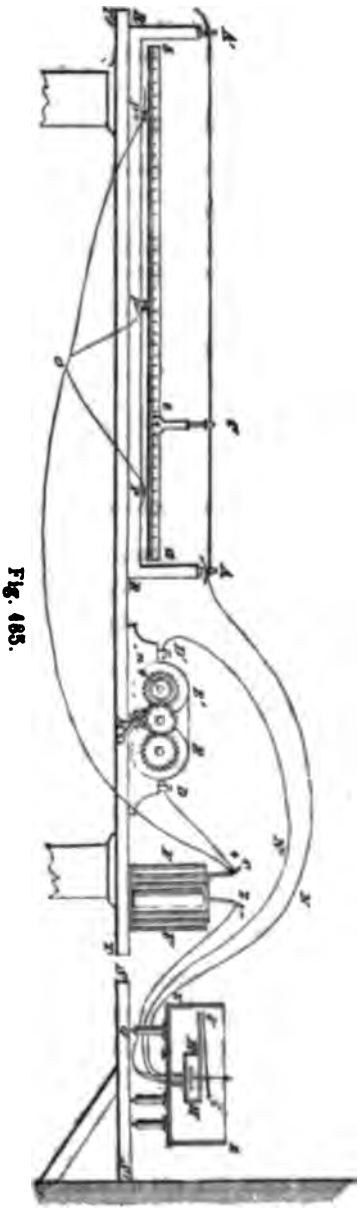


Fig. 165.

Becquerel a d'abord vé-
moyen de cet appareil,
déjà indiquée, que le
conducteur est en rai-
erse de la longueur et
le la section du fil mé-

emier tableau renferme
riences faites, à la tem-
de 12° 50, avec un fil
0mm. 3223 de diamètre
gueur variable. La pre-
olonne indique, par la
de la pince Ce, les lon-
variables du fil; la se-
e nombre des divisions
stat, qui donnent des
es égales à celles des
rs correspondantes des
r; la troisième, le rap-
tre ces deux quantités.

Or, ce rapport étant constant, il en résulte que la résis que détermine l'introduction du fil de fer dans le circuit mente bien proportionnellement à la longueur de ce fi ce qui revient au même, que sa conductibilité est inverse longueur.

Voici ce tableau :

POSITION de la pince Ce sur la règle divisée, ou longueur du fil de fer.	DIVISIONS de la roue dentée, ou longueur du fil étalon.	RAPPORT entre les longueurs c pondantes des deux
0 centim.		
20	162.6	8.13
40	325.2	8.13
60	485.0	8.08
80	643.3	8.04
100	805.6	8.06

Un second tableau renferme les expériences faites avec fils de fer de diamètres différents. On obtient, pour 1 mèt longueur, une résistance représentée comme suit :

RÉSISTANCE en divisions du rhéostat.	DIAMÈTRES des fils.	CARRÉS des diamètres.	PRODUIT DES C des diamètre par les résistan
157.08	0.7370	0.5322	85.717
928.65	0.3037	0.0922	85.622

Ainsi l'augmentation de résistance occasionnée par l' duction, dans le circuit, d'un fil de fer d'une certaine long est à celle que produit l'introduction d'un fil de même gueur, mais d'un diamètre différent, inversement comm carrés des deux diamètres.

Après ces expériences préliminaires, viennent celles qu faites avec des fils de différents métaux, dont il faut avoi

bien mesurer exactement le dia es. Mais comme quel-
ues-uns, lorsqu'ils sortent d fi e, sont écrouis et non
s tous, et que l'écrouissage influe r la conductibilité, ainsi
e M. Pouillet l'a observé, il e imp de les recuire, afin
u'ils soient tous, autant que p ble, da les mêmes condi-
ons moléculaires. La différence s le port de la conduc-
bilité, entre un fil écroui et le fil recuit, est en effet
ues sensible, comme on peut le v par le tableau suivant :

FILS d'un diamètre égal, 1.	RÉSISTANCES.		POUVOIRS CONDUCTEURS		Rapport de la conductibilité du métal recuit et de l'écroui.
	Écroui.	Recuit.	Écroui.	Recuit.	
Argent pur.	123.509	115.416	93.448	100.000	1.0701
Cuivre pur.	119.559	126.222	89.084	91.439	1.0264
Or pur.	179.260	176.320	64.385	65.458	1.0166
Fer.	951.098	942.046	12.124	12.246	1.0101
Platine.	1435.158	1416.007	8.042	8.147	1.0130

On doit remarquer que dans ce tableau on a ramené la ré-
istance, et par conséquent la conductibilité des fils, à ce
u'elle doit être, en leur supposant à tous le même diamètre;
n a également rapporté toutes les conductibilités à celle de
argent recuit, qui est la plus forte de toutes.

La température influe aussi, comme l'écrouissage, d'une
anière notable sur la conductibilité des métaux. Pour étudier
tte influence, M. Becquerel enroule le fil soumis à l'expé-
ence autour d'un tube de verre, de façon que les spires de
élice qu'il forme soient bien isolées les unes des autres, puis
en fait aboutir les deux extrémités à deux gros bouts de
ivre rouge, dont la conductibilité très-bonne ne varie pas
nsiblement par rapport à celle du fil lui-même, sous l'in-
uence de la température à laquelle il est exposé. Il place le
e garni de son fil dans un bain d'huile, qu'il porte gra-
uellement de 0 à 100°, et qu'il refroidit de même de 100°
°; puis il détermine les variations de conductibilité du fil au
yen du rhéostat. Cette variation suit d'une manière assez ré-

gulière, dans le même métal, celle de la température à laque elle est en général proportionnelle; mais elle diffère be coup d'un métal à l'autre, et n'est point en rapport avec sa co ductibilité absolue. On peut en juger d'après le tableau suiv qui renferme les pouvoirs conducteurs relatifs des différ métaux à 0° et à 100°. L'ordre est bien le même, sauf pour plomb et le platine, qui changent de place; mais les rapp numériques qui indiquent leur conductibilité relative s notablement altérés, excepté pour le cuivre, le cadmium et zinc.

SUBSTANCES.	POUVOIRS conducteurs à 0°.	POUVOIRS conducteurs à 100° par rapport à l'argent à 0°.	RAPPORTS des pouvoirs cond teurs à 100°.
Argent pur recuit.	100	71. 316	100
Cuivre pur recuit.	91. 519	64. 919	91. 30
Or pur recuit.	64. 960	48. 489	67. 992
Cadmium.	24. 579	17. 506	24. 547
Zinc.	24. 63	17. 596	24. 673
Etain.	14. 014	8. 657	12. 139
Fer recuit.	12. 350	8. 587	11. 760
Plomb.	8. 277	5. 764	8. 078
Platine recuit.	7. 933	6. 688	9. 378
Mercure.	1.7387	1.5749	2.2083

Il est fâcheux que M. E. Becquerel n'ait pas apprécié l fluence de l'élévation de la température sur les métaux au de 100°. Heureusement que M. Lenz avait fait cette déte nation jusqu'à 200°. Voici le tableau des résultats qu'il a obtenus :

	A 0°.	A 100°.	A 200°.
Argent. . .	136.25	94.45	68.72
Cuivre. . .	100.00	73.00	54.82
Or	79.79	65.20	54.49
Étain . . .	30.84	20.44	14.78
Laiton. . .	29.33	24.78	21.45
Fer. . . .	17.74	10.87	7.00
Plomb. . .	14.62	9.61	6.76
Platine. . .	14.16	10.93	9.00

bleau, dont les éléments numériques diffèrent peu de
: M. Becquerel, corrobore la remarque que nous avons
ite quant à l'influence qu'exerce la température, non-
ent sur la conductibilité absolue, mais même sur la
tibilité relative des métaux. Ainsi nous voyons le pou-
nducteur de l'or, qui, à 0°, n'est que les 4/5 de celui du
lui devenir égal à 200°; le laiton, qui à 0° est inférieur
n, lui devenir supérieur à 100°, et encore plus à 200°;
: platine, qui à 0° est inférieur au plomb et au fer, leur
r supérieur à 100° et à 200°. Évidemment les métaux
s fusibles sont ceux qui varient le plus vite sous l'in-
: d'une température élevée dans l'échelle de la conduc-
, preuve de l'influence qu'exerce la constitution molé-
: sur cette propriété des corps.

st encore, outre celles que nous avons mentionnées,
es substances solides dont on a déterminé le pouvoir
:teur Ainsi Lenz a trouvé, en appelant toujours 100 le
ir conducteur du cuivre,

Antimoine	8.9
Mercure.	4.7
Bismuth.	2.6

l n'indique pas l'influence de l'élévation de la tempéra-
ir la conductibilité de ces métaux.

alladium est un des métaux sur lesquels les expériences
ers physiciens ont donné les résultats les moins concor-
Ainsi, tandis que Pouillet trouve qu'il est le plus con-
ir de tous les métaux, E. Bequerel et Riess le placent
'argent, le cuivre, l'or, le cadmium, le zinc et l'étain.
ergences tiennent probablement à quelques différences
: degré de pureté des échantillons livrés à l'expérience.

onductibilité électrique du charbon n'a jamais été déter-
avec précision. Cela tient aux différences qu'elle pré-
depuis le diamant qui est complétement isolant, jus-
graphite et à la plombagine qui conduisent très-bien.
np a montré l'influence considérable qu'exerce l'éléva-
: température sur le pouvoir conducteur du charbon de

bois, qu'elle augmente considérablement. Mais cette influence, qui est contraire à celle qui est exercée sur les métaux, en diffère également en ce qu'elle est permanente, c'est-à-dire que c'est le fait d'avoir été exposé à une très-haute température qui rend le charbon de bois meilleur conducteur. Ainsi, M. Violette, dans des recherches récentes sur les charbons de bois, a trouvé que des fragments de charbon de bois de bourdaine, préparés à la température de 1500 degrés, sont meilleurs et plus également conducteurs que le graphite qu'on extrait des cornues à gaz. Du reste, nous y reviendrons à l'occasion de l'arc voltaïque qu'on obtient avec deux pointes du charbon.

La conductibilité des métaux pour l'électricité est un phénomène, avons-nous dit en commençant, qui a beaucoup de rapport avec leur conductibilité pour la chaleur; nous en avons une preuve directe dans le fait déjà observé par M. le professeur Forbes, il y a vingt ans, que l'ordre de conductibilité des métaux est le même pour la chaleur que pour l'électricité. Voici un tableau dressé par MM. Wiedemann et Franz à la suite de nouvelles recherches qu'ils ont faites sur le pouvoir conducteur des métaux pour la chaleur, qui met ce rapprochement en évidence d'une manière remarquable.

NOMS DES MÉTAUX.	CONDUCTIBILITÉ POUR L'ÉLECTRICITÉ.			CONDUCTIBILITÉ pour la chaleur.
	Riess.	Becquerel.	Lenz.	
Argent.	100	100	100	100
Cuivre.	66.7	91. 5	73.3	73.6
Or.	59.0	64. 9	58.5	53.2
Laiton.	18.4	»	21.5	23.6
Étain.	10.0	14. 0	22.6	14.5
Fer.	12.0	12.35	13.0	11.9
Plomb.	7.0	8.27	10.7	8.5
Platine.	10.5	7.93	10.3	6.4
Argentane.	5.9	»	»	6.3
Bismuth.	»	»	1.9	1.8

Enfin il existe un grand nombre de substances minérales qui peuvent transmettre un courant électrique, mais dont on n'a

terminer ni le rang ni le coefficient numérique de con-
ilité. MM. Henrici et Hanemann, d'une part, M. Wart-
de l'autre, ont fait sur ce sujet de nombreuses expé-
s. Le dernier de ces physiciens a examiné 319 espèces
ales, dont il a trouvé 252 isolantes, et par conséquent 67
nent conductrices. La difficulté de ramener ces sub-
s aux mêmes dimensions, et même de leur donner des
nes géométriques susceptibles d'être évalués exactement,
mpossible de déterminer leurs rapports de conductibilité,
lus que les variations de conductibilité qui peuvent se
lester dans un même minéral, par exemple, suivant que
tricité s'y propage dans un sens ou dans l'autre. Au reste,
'a rien d'absolu dans la propriété conductrice, car entre
les minéraux les plus conducteurs et ceux qui sont les
isolants, il y a tous les degrés intermédiaires. C'est ce que
constaterons plus loin dans le paragraphe où nous nous
perons de la propagation de l'électricité dans les corps
vais conducteurs.

ı détermination des pouvoirs conducteurs des liquides a été
nue en suivant les mêmes procédés que pour les solides;
ut seulement avoir égard à deux circonstances qui ne se
ntent pas quand il s'agit des solides. La première, c'est la
tance au passage qui a lieu dans la transmission du cou-
électrique à la surface de contact du liquide et de l'élec-
e de métal, résistance tout à fait indépendante de la con-
ibilité électrique proprement dite du liquide; la seconde,
l'altération que subit très-promptement le liquide sou-
à l'expérience par l'effet de la décomposition chimique
éprouve. Pour obvier à ce dernier inconvénient, il faut
er le plus vite possible et disposer l'appareil de manière
les substances dégagées par la décomposition n'altèrent pas
uide; dans ce but, on cherche à les absorber, si elles sont
ses, par la substance même des électrodes, lorsque c'est
ble, comme pour l'oxygène, ou bien on les laisse se déposer
es sont solides, dans la partie du liquide qui est au fond
se et qu'on a soin de ne pas mettre dans le circuit.

est plus diffic le de se mettre à l'abri du premier inconvé-

nient. M. E. Becquerel emploie dans ce but un procédé qui n'est qu'une modification de celui qu'a proposé M. Wheatstone, et qui nous a servi à prouver que pour les liquides aussi bien que pour les solides, la résistance à la conductibilité est proportionnelle à la longueur de la colonne conductrice. Mais au lieu d'un seul tube, M. E. Becquerel en emploie deux, afin de pouvoir faire usage, comme pour les solides, du galvanomètre différentiel, et dans chacun de ces tubes sont deux électrodes de platine, l'un fixe, l'autre mobile comme un piston, ce qui permet d'allonger ou de raccourcir à volonté la colonne liquide.

L'appareil est représenté (fig. 186). Ce sont deux éprouvettes

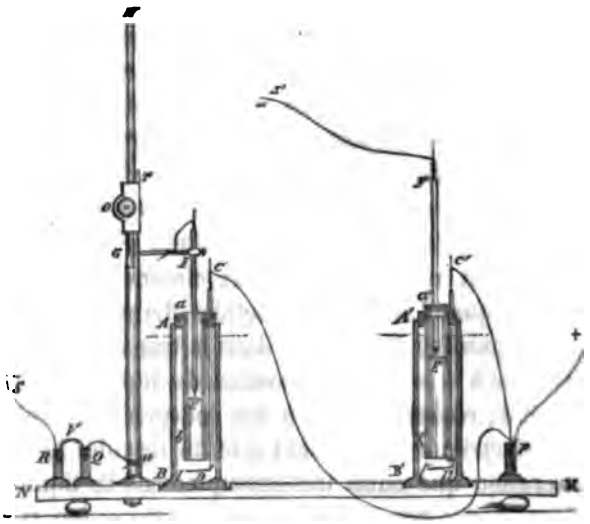


Fig. 186.

en verre à pied AB, A'B', de 4 à 5 centimètres de diamètre et de 3 décimètres de hauteur. Elles reposent dans des entailles pratiquées dans une planche MN bien horizontale. Dans ces éprouvettes, plongent deux tubes cylindriques *ab*, *a'b'*, retenus en haut par des bouchons, et s'arrêtant à 4 centimètres du fond de ces mêmes éprouvettes; ils ont le même axe qu'elles. Ces tubes ont exactement 21 millimètres, 54 de diamètre intérieur, mesuré par le poids d'une colonne d'eau d'une certaine

hauteur. Dans ces tubes, placés verticalement, peuvent se mouvoir de haut en bas et de bas en haut des lames circulaires de platine E, E' horizontales, d'un diamètre un peu plus petit que celui de ces tubes, et attachées à des fils de platine soudés dans des tubes de verre FE, F'E'. Des lames de différents métaux DL, D'L', suivant les expériences, sont placées horizontalement au fond des éprouvettes, à la partie inférieure des tubes *ab*, *a'b'*. Ces lames sont attachées à des fils de même métal qui passent dans des tubes DC, D'C'. Le tube EF est attaché à une tige GF communiquant à une crémaillère, de telle sorte qu'on peut élever ou abaisser le disque E à l'aide de cette crémaillère, et connaître à l'aide du vernier T, à 1/10 de millimètre près, et même au delà, de combien on fait varier la position de E dans le tube. L'autre lame semblable E' monte ou descend à l'aide du tube F'E' qui passe à frottement dans le bouchon A'.

Cela fait, si l'on met dans les éprouvettes le liquide à l'aide duquel on veut opérer, et que l'on fasse passer un courant entre la lame E et la lame DL, en élevant ou abaissant E, on introduira ou l'on retranchera du circuit une colonne liquide ayant même diamètre que le tube *ab*, et pour longueur, l'élévation ou l'abaissement de la lame. Le liquide compris entre l'éprouvette et le tube intérieur n'est pas dans le circuit. On a disposé ainsi l'appareil afin que les produits formés autour de la lame positive tombent au fond de l'éprouvette, et n'altèrent pas la conductibilité du liquide placé dans le tube *ab*. On attache ensemble les fils CD, C'D', qui plongent dans un godet plein de mercure P, et qui, par ce moyen, communiquent avec le pôle positif d'un ou de plusieurs couples. Le pôle négatif s'attache au point G de jonction des deux extrémités du fil du galvanomètre. Les deux autres extrémités, N et N', de ces mêmes fils, s'attachent aux extrémités S, S' qui communiquent aux lames circulaires E, E'; N s'attache directement; N' communique par l'intermédiaire des deux godets R, Q, et du fil GF de la crémaillère. On voit donc que les deux circuits PC'E'F'S', PCEFS dans lesquels sont deux colonnes liquides E'D', ED, remplacent les circuits tout métalliques

de la fig. 185 F'OCAN, F'E'N'. Si donc on fait passer un cou provenant de un, deux ou quatre couples au plus sembl au couple FF' de la fig. 185, le courant se partagera ent deux circuits, les lames E, E' étant en haut des tubes; guille du galvanomètre se déviera un peu à droite ou à che, car les deux circuits ne sont pas de prime abord ident en conductibilité : alors à l'aide de la crémaillère OH, o vera ou l'on abaissera E, jusqu'à ce que l'aiguille soit re au zéro. En général, à moins de circonstances particu comme on le verra plus loin, elle s'y maintiendra; de sorte qu'en élevant ou abaissant E de 1 millimètre, l'ai est déviée à droite ou à gauche du zéro. Une fois le zér tenu, les deux circuits sont identiques en conductibilit enlève le fil en cuivre V qui établit la communication ent godets G et R, et l'on met à la place des hélices de fil de p ou de cuivre d'une longueur connue; aussitôt l'aiguil galvanomètre est chassée dans un sens qui indique que l cuit PCEFS a une résistance plus considérable de la valeu fil mis à la place de V.

Si alors on abaisse la lame E avec la crémaillère O, l'ai reviendra à zéro, et lorsqu'on sera arrivé à ce point et q s'y maintiendra, on notera de combien on a descendu la l Alors la longueur d'une colonne liquide ayant pour dia le diamètre du tube *ab*, et pour longueur la course de la E, sera équivalente en résistance au fil mis entre R et l place de V. Cette résistance sera indépendante de la résis au passage des liquides dans les solides; car les section identiques dans les deux expériences, comme dans l'ap de M. Wheatstone, et les courants ramenés à l'égalité. S ment ici, on fait varier la hauteur de la colonne liquid ployée pour trouver la valeur en résistance de l'hélice en V; c'est l'inverse du procédé de Wheatstone. Il fau ployer plusieurs hélices, suivant les liquides dont o usage.

Si l'on a affaire à un liquide qui renferme un sel méta décomposé par le courant, alors il faut, en général, n pour lames positives inférieures DL, D'L', des lames de

nature que le métal dissous; car il se reforme au pôle positif le sel décomposé par le courant. Si l'on ne peut pas avoir ce métal en lames, il faut prendre un métal oxydable; le sel formé restant au bas de l'éprouvette n'entre pas dans le tube ab, et dans le cours de l'expérience ne dérange pas la mesure du pouvoir conducteur. Il faut donc éviter qu'il ne se dégage du gaz sur DL et D'L'. Le métal se déposant sur E et E', il n'y a pas de contre-courant, et l'aiguille du galvanomètre se maintient au zéro, de telle sorte qu'on a la résistance avec une grande précision.

Si l'on fait usage d'un liquide autre qu'une solution d'un sel métallique, alors il faut toujours prendre pour lames positives des lames oxydables, pour éviter le dégagement de gaz en bas de l'éprouvette, et n'agir qu'avec le plus faible courant possible, afin qu'il ne se dégage que peu de gaz en E et E' : on ternie un peu ces lames pour que l'hydrogène ne reste pas adhérent; mais malgré cela l'aiguille du galvanomètre n'est pas fixe à zéro, elle oscille un peu à droite et à gauche, l'on saisit la position où les oscillations de chaque côté ont même amplitude. Du reste, on ne se trompe pas dans ces cas de 1/2 millimètre sur la longueur de la colonne liquide. Il faut, toujours en tout cas, répéter plusieurs fois cette opération, afin de s'assurer si l'on retombe sur les mêmes nombres.

Les expériences de M. Becquerel ont d'abord porté sur l'influence qu'exerce sur la conductibilité de différentes dissolutions salines la quantité plus ou moins grande d'eau qu'elles renferment. Ainsi en faisant usage d'une hélice ayant 3 mètres de fil de platine, il a opéré sur 3 dissolutions de sulfate de cuivre à 9° 25 de température, l'une saturée, la seconde renfermant 1/2, la troisième 1/4 de sulfate en volume.

Le tableau suivant donne les longueurs des colonnes liquides équivalentes pour chaque dissolution à 3 mètres de fil de platine, ce qui permet d'en déduire leurs pouvoirs conducteurs, celui de l'argent étant 100,000,000.

DISSOLUTIONS.	SULFATE de cuivre contenu.	LONGUEUR des colonnes liquides.	POU conds
		cent.	
Saturée.	1	9. 55	5.
Étendue de façon que le volume soit double.	$\frac{1}{2}$	6.135	3.
Étendue de façon que le volume soit quadruple.	$\frac{1}{4}$	3. 68	2.

M. Pouillet avait trouvé, d'après la méthode de M. W stone, un résultat très-rapproché de celui de M. Becquerel, le sulfate de cuivre. Il avait obtenu, pour ce sel, un po conducteur 16 millions de fois plus faible que celui du cu Or le pouvoir conducteur du cuivre étant les 91/100 de de l'argent, on voit que le nombre 5,42 obtenu par M querel est bien rapproché de celui de M. Pouillet.

Des expériences semblables ont été faites par M. E. Bec sur du bichlorure de cuivre, du nitrate de cuivre, du chl de sodium, du sulfate de zinc à différents degrés de conc tion. Il a remarqué que dans quelques sels, tels que le s de cuivre et le sulfate de zinc, le pouvoir conducteur aug à mesure que l'on étend la dissolution jusqu'à une ce limite à laquelle il atteint un maximum, puis ensuite di de telle sorte qu'on peut avoir une dissolution très-étendu ait le même pouvoir conducteur qu'une solution très-co trée. J'avais déjà, il y a vingt-cinq ans, fait la même ob tion en ce qui concerne l'acide sulfurique, qui est plus co teur quand il est mélangé avec une certaine proportion, que plus concentré ou plus étendu; et, ce qu'il y a d remarquable, c'est que la dissolution d'acide sulfuriq plus conductrice est précisément celle qui exerce l'actio mique la plus vive sur les métaux oxydables, tels que le le fer, etc., etc.

M. Matteucci est arrivé à un résultat semblable au r

rocédé que nous décrivons à la fin de ce paragraphe, en tant d'autres expériences du même physicien. Voici le ı des pouvoirs conducteurs de l'acide sulfurique à divers e densité, en prenant pour unité le pouvoir conducteur acide à la densité de 1,259.

Densité de l'acide.	Pouvoir conducteur.
1.030	0.301
1.066	0.682
1.100	0.760
1.143	0.935
1.259	1.000
1.340	0.951
1.384	0.850
1.482	0.622
1.667	0.344

ide nitrique et l'acide hydrochlorique ont également l'autre un maximum de conductibilité à un certain état sité; ainsi, suivant M. Matteucci, l'acide nitrique à 1,315 sité conduit mieux que celui qui a une plus grande ou oindre densité. L'acide hydrochlorique à 1,186 de den- duit moins bien qu'à 1,162, et mieux à 1,114 qu'à 1,076. ant, avec ces deux acides, les effets sont moins prononcés : l'acide sulfurique.

ı donc une relation évidente entre la conductibilité élec- des liquides et leurs propriétés chimiques; c'est un point uel nous reviendrons quand nous nous occuperons de mposition électro-chimique des liquides. Voici du reste leau assez exact des pouvoirs conducteurs de quelques s.

SUBSTANCES.	DENSITÉS.	TEMPÉRATURES.	POUVO conduct
Argent pur.	»	0°.00	100.000.
Eau saturée de sulfate de cuivre.	1.1707	9 .25	
Eau saturée de chlorure de sodium à 9°50.	»	13 .40	
Eau saturée de nitrate de cuivre.	1.6008	13 .00	
Eau saturée de sulfate de zinc.	1.4410	14 .40	
250 grammes d'eau et 30 grammes d'iodure de potassium.	»	12 .50	
220 cent. cub. d'eau et 20 cent. cub. d'acide sulfurique à 1 atome d'eau.	»	19 .00	
Acide azotique du commerce à 36°.	»	13 .10	
30 grammes de protochlorure d'antimoine, 120 cent. cub. d'eau et 100 cent. cub. d'acide chlorhydrique.	»	15 .00	

Remarquons que la dissolution de nitrate de cuivre quand elle est étendue d'eau de manière à occuper un double, a un pouvoir conducteur à peu près double, 1 lieu de 8,995; et le sulfate de zinc, dans les mêmes co a pour pouvoir conducteur 7,13 au lieu de 5,77; c'e ces deux dissolutions salines, également leur maxi conductibilité.

L'influence de la température est très-sensible sur le conducteur des liquides pour l'électricité; mais cette i exerce ici une action contraire à celle qu'elle exerc métaux, c'est-à-dire que l'élévation de la températ mente la conductibilité des liquides au lieu de la dimi fait avait déjà été signalé en 1826 par M. Marianini, observé qu'on augmentait l'intensité du courant d'u en chauffant le liquide de ce couple; mais ici l'effet ét

plex, parce qu'il pouvait aussi bien tenir à un accroissement produit par la chaleur dans l'action électromotrice des métaux du couple qu'à une augmentation dans la conductibilité électrique du liquide. Plus tard, MM. E. Becquerel et Hankel ont constaté d'une manière directe qu'effectivement l'élévation de température accroît le pouvoir conducteur des liquides. M. E. Becquerel s'est servi dans ce but des mêmes moyens qui lui avaient servi à mesurer la conductibilité propre des liquides, et voici les résultats qu'il a obtenus avec trois liquides. Le pouvoir conducteur de chacun d'eux étant considéré comme l'unité, la conductibilité pour un accroissement de température d'un degré a augmenté :

Pour la solution saturée de sulfate de cuivre. . . .	de	0.0286
Pour la solution étendue de sulfate de zinc.	de	0.0223
Pour l'acide nitrique du commerce	de	0.0263

qui fait pour chacun de ces liquides une augmentation de ns de 2 100 de sa conductibilité pour un degré d'élévation température.

Les expériences de M. Hankel ont été faites suivant une méode assez semblable à celle de M. E. Becquerel, au moyen un galvanomètre différentiel entre les deux fils duquel se ntageait un courant produit par deux ou trois couples de uiell, de manière à y cheminer dans des directions oppos. Dans le circuit de l'un des fils se trouvait le liquide soumis l'expérience, placé dans un tube en forme de U ; et dans le cuit de l'autre, des hélices de fil de fer, dont la résistance était rtement connue, et dont on variait les longueurs jusqu'à ce elles présentassent une résistance égale à celle de la colonne uide, ce qui avait lieu quand l'aiguille demeurait à 0° au ment où le circuit entier était fermé. M. Hankel avait soin ne faire passer le courant chaque fois que pendant un inst très-court, de manière à empêcher que la polarisation des trodes, et l'élévation de la température résultant du pas- e du courant, n'apportassent des perturbations dans les ré- ats. Il a ainsi trouvé que la conductibilité d'une dissolution ulfate de cuivre concentrée augmente, en étant chauffée de

0° à 83°, environ dans le rapport de 1 à 3,6; celle d'une dissolution concentrée de nitrate de cuivre, dans le rapport de 1 à 3,0; celle d'une dissolution concentrée de sulfate de zinc, dans le rapport de 1 à 5,7. Ces résultats sont notablement plus considérables que ceux obtenus par M. E. Becquerel, ainsi qu'il est facile de s'en assurer en multipliant ces derniers par 83, nombre des degrés entre lesquels M. Hankel a opéré. Cette différence tient probablement à ce que M. Hankel employait pour électrodes, au lieu de fils de platine, comme le faisait M. E. Becquerel, des lames de cuivre dans les dissolutions de cuivre, et de zinc dans celles de zinc; il en résultait que l'action de la chaleur influait sur l'intensité du courant transmis, non-seulement en augmentant la conductibilité du liquide, mais en facilitant, par la dissolution des lames dans ce liquide, le passage de l'électricité; l'effet était donc complexe, ce qui fait que les résultats de M. Becquerel représentent mieux l'influence spéciale de la température sur la conductibilité propre du liquide.

L'influence des électrodes, c'est-à-dire des métaux qui transmettent le courant dans le liquide, est en effet très-grande dans ces phénomènes; ainsi il suffit, comme je l'ai remarqué, de chauffer fortement un électrode de platine, sans élever d'une manière sensible la température du liquide, pour faciliter d'une manière très-notable la transmission d'un courant, et porter, par exemple, son intensité telle que l'accuse un galvanomètre, de 12° à 30°; mais ce qu'il y a d'assez curieux, c'est que ce résultat ne s'obtient qu'autant que celui des électrodes qu'on chauffe est le négatif; le réchauffement de l'électrode positif est sans influence. Cet effet tient, comme nous le verrons, à une action chimique facilitée par la chaleur qui détruit la polarisation de l'électrode, laquelle contribue à diminuer l'intensité du courant transmis.

M. Vorselmann de Heer, après avoir confirmé les résultats que j'avais obtenus, a montré qu'il suffit d'ébranler fortement l'électrode négatif pour faire monter un courant de 34° à 40°, tandis que l'ébranlement de l'électrode positif ne produit presque pas non plus de changement dans la force du courant. Ces effets, ainsi que l'a très-bien démontré M. Beetz, tiennent à ce

it l'action de la chaleur, soit le simple ébranlement mé-
, détruisent dans certains cas la polarisation des élec-
laquelle contribue à diminuer l'intensité du courant
is. Nous reviendrons sur ce point important quand nous
étudié la cause de la polarisation des électrodes, qui est
t sur leur surface des éléments provenant de la décom-
ı électro-chimique des liquides.
naleur exerce un autre genre d'influence sur la conduc-
des corps, c'est de rendre conducteurs, en les faisant
ı l'état liquide, une foule de corps composés qui, à l'état
étaient incapables de transmettre un courant, ou ne le
ettaient qu'imparfaitement. Cette découverte importante
'araday.
la liste des principales substances qu'il a trouvées sus-
s de devenir conductrices, quand elles sont liquéfiées
:haleur, d'isolantes qu'elles étaient à l'état solide.
a glace, soit l'eau congelée.
armi les oxydes, celui de potassium, le protoxyde de
et celui d'antimoine, l'oxyde de bismuth et le verre
ioine.
es chlorures de potassium, de sodium, de barium, de
otium, de magnésium, de manganèse, de zinc, de
d'antimoine, d'argent et les protochlorures d'étain et
re.
es iodures de potassium, de zinc, de plomb, le proto-
d'étain et le periodure de mercure.
es sulfures de potassium, d'antimoine.
:chlorate de potasse, plusieurs nitrates, sulfates, etc., etc.
ıi les corps chez lesquels la fusion ignée ne développe
ouvoir conducteur, nous pouvons citer, outre le soufre,
phore, le camphre, etc., le periodure d'étain, les sul-
l'arsenic (orpiment et réaglar), etc. Le verre fondu
conducteur, surtout le flintglass, quand il est poussé à
ute température.
u'il y a d'assez remarquable, c'est que le simple ramol-
nt d'un corps par la chaleur ne suffit pas, en général,
ns quelques cas exceptionnels, pour le rendre conduc-

teur; il faut qu'il devienne complétement liquide, ce qui prouverait que l'effet tient moins à l'élévation de température qu'à la liquéfaction du corps. C'est ce que M. Faraday a observé, en particulier avec le borate de plomb.

Il va sans dire que dans toutes ses expériences M. Faraday constate la conductibilité par la faculté que possède ou qu'acquiert un corps de transmettre un courant capable d'agir sur l'aiguille aimantée, ou d'opérer une décomposition. Nous verrons dans le paragraphe suivant que pour les conducteurs imparfaits, où la propagation de l'électricité a lieu lentement, le mode d'observation est différent.

Il est probable que cet effet de la chaleur tient à ce que la transmission du courant ne peut avoir lieu dans les corps composés qu'autant qu'ils sont en même temps décomposés, et que la décomposition elle-même ne peut s'effectuer qu'autant qu'ils sont liquides. Cependant Faraday croit avoir trouvé des corps tels, par exemple, que le periodure de mercure qui, isolants quand ils sont solides, deviennent conducteurs quand ils sont fondus, sans cependant éprouver, en apparence du moins, de décomposition sensible. Il a également trouvé que le sulfure d'argent et le fluorure de plomb, qui à la température ordinaire sont isolants, deviennent conducteurs par la seule élévation de la température, sans avoir besoin de passer à l'état liquide. Une fois fondus, ils conduisent l'électricité aussi bien que les métaux et ne paraissent pas éprouver de décomposition. Quand ils sont redevenus solides et qu'ils ont été ramenés à leur température primitive, ils sont de nouveau isolants, ce qui semble prouver que leur nature chimique n'a point été altérée par la chaleur. Le verre est au reste dans le même cas. Toutefois c'est encore une question controversée, et qui sera traitée dans le chapitre des décompositions électrochimiques, que de savoir si un corps composé peut conduire l'électricité, sinon en totalité, du moins en partie, à la façon des corps simples, sans éprouver de décomposition.

C'est là aussi que nous étudierons l'influence de l'eau qui, quoique très-peu conductrice elle-même, peut, dans certains cas, rendre conducteurs par son mélange avec eux, non-seule-

ment des corps solides qu'elle dissout, mais des liquides qui sont très-isolants, tels que le brome, l'iode fondu et le chlore liquéfié. Il y a évidemment dans cette action de l'eau comme dans celle de la liquéfaction ignée une facilité apportée à la décomposition électrochimique, et par conséquent un effet plus chimique que physique. Au reste, sans insister maintenant sur ce sujet, je puis en trouver une preuve dans l'observation que j'avais déjà faite en 1837, et que M. E. Becquerel a confirmée, comme nous l'avons vu plus haut, que le mercure, quoique liquide, perd par le réchauffement une partie notable de son pouvoir conducteur, contrairement à ce qui arrive à tous les liquides qui, au lieu d'être des corps simples, sont des substances composées.

Nous mentionnerons encore, avant de terminer, les résultats importants obtenus par M. Matteucci, qui a soumis à l'expérience un grand nombre de combinaisons qu'il a pu se procurer à l'état pur, et qui satisfaisaient à la double condition d'être anhydres et fusibles. Un voltamètre était mis dans le circuit principal, lequel se subdivisait en deux, l'un renfermant un second voltamètre semblable au premier, l'autre la substance composée à l'état de fusion ignée. Si l'indication du second voltamètre était la même que celle du premier, c'était une preuve que la substance fondue n'était point conductrice; si au contraire cette indication était moindre ou nulle, on en pouvait conclure qu'une partie ou la totalité du courant passait à travers le corps soumis à l'expérience. C'est par ce procédé que M. Matteucci avait obtenu les résultats que nous avons rapportés plus haut sur les pouvoirs conducteurs des acides à divers degrés de concentration. A l'état de fusion, le protoxyde et l'iodure de plomb, le chlorure d'argent, le protochlorure de cuivre, les sulfures d'antimoine et de potassium, les nitrates de potasse et d'argent conduisaient tout le courant et n'en laissaient point passer à travers le voltamètre; venaient ensuite dans l'ordre de leur conductibilité, le chlorure de plomb, l'iodure de potassium, les chlorures de sodium, de calcium et de zinc, le biiodure et le protochlorure de mercure, le chlorure d'antimoine et le protochlorure d'étain. Les bichlorures d'étain et d'antimoine

obligeaient le courant à passer en entier dans le voltamètre secondaire. On a comparé ensuite des solutions aqueuses aussi concentrées que possible de ces combinaisons avec chacune d'elles à l'état de fusion ignée, et on a trouvé que tout le courant passe dans la combinaison fondue, lors même qu'on réchauffe la dissolution. Cependant il y a un rapport très-évident entre la conductibilité d'une solution et celle que possède le corps dissous quand il est à l'état de fusion; ainsi, pour que deux solutions aqueuses aient la même conductibilité, il est nécessaire que celle dont le composé à l'état de fusion est moins conducteur soit plus concentrée. Cette conséquence semble bien prouver que dans les solutions aqueuses de certains corps composés, dont la conductibilité à l'état de fusion est grande, le courant est conduit par le corps dissous, et que l'eau ne fait, comme la chaleur, que de lui donner l'état liquide nécessaire à la décomposition électro-chimique.

Une observation encore assez importante de M. Matteucci, c'est que certains corps qui ne conduisent pas à l'état de fusion, tels que les bichlorures que nous avons mentionnés plus haut, acquièrent cette propriété quand ils sont dissous dans l'eau, probablement parce que la présence de l'eau facilite leur décomposition; de même les chlorures d'antimoine et le protochlorure d'étain, qui sont très-peu conducteurs à l'état de fusion ignée, le sont beaucoup plus quand ils forment dans l'eau des dissolutions très-concentrées. Il est évident qu'il y a dans tous ces phénomènes des actions secondaires chimiques que le passage du courant détermine et facilite, ce qui fait que ces effets sont très-complexes.

Nous pouvons donc résumer ce paragraphe en disant, 1° que les métaux et le charbon ont une conductibilité propre qui varie avec leur nature et avec leur état moléculaire; 2° que l'élévation de température diminue chez tous leur pouvoir conducteur dans une proportion qui est variable pour chacun d'eux avec leur nature et leur état moléculaire; 3° que des corps composés solides, qui sont isolants à la température ordinaire, deviennent conducteurs en étant chauffés, mais que le plus grand nombre n'acquiert cette propriété que lorsqu'ils

sez chauffés pour passer à l'état liquide; 4° que pour les tions aqueuses, le pouvoir conducteur varie avec leur de concentration, les plus concentrées étant ordinaire- sauf dans quelques cas exceptionnels, les plus conduc- et que ce pouvoir augmente généralement avec l'éléva- la température; 5° que les différences qui existent entre ps simples et les corps composés, quant à l'influence de eur, semblent indiquer que leur conductibilité ou, ce ient au même, leur mode de propager l'électricité n'y nt complétement identique, ce qui tient probablement à : dans les corps composés la transmission du courant que y est toujours accompagnée ou d'un changement ulaire, ou le plus souvent, sinon toujours, d'une décom- n chimique; 6° il résulte de cette dernière circonstance sujet de la conductibilité électrique des corps composés t être traité complétement qu'en faisant l'étude des dé- sitions électro-chimiques qui forment l'objet d'un cha- le cette quatrième partie.

. Propagation de l'électricité dans les conducteurs imparfaits solides et liquides.

nd nous avons donné dans la première partie de ce traité des corps conducteurs et isolants[1], nous avons eu soin arquer que la conductibilité n'est pas une propriété ab- c'est-à-dire qu'on ne peut pas classer les corps en deux ries dont les uns soient des conducteurs parfaits et d'au- s isolants parfaits. Nous nous sommes occupés dans le aphe précédent de ceux qui sont assez bons conducteurs ouvoir transmettre l'électricité voltaïque d'une manière ie et rapide, propriété qui est manifestée par les effets iques du courant. Nous allons maintenant étudier dans ıgraphe la propagation de l'électricité dans des corps lusieurs sont considérés comme isolants, ou qui, du conduisent l'électricité trop imparfaitement pour pou-

ie Ier, page 7.

voir, sauf dans des circonstances exceptionnelles, transmettre un courant proprement dit.

Priestley avait déjà remarqué que la glace, le verre quand il est chaud ou quand il est pilé, la flamme d'une chandelle et un grand nombre de substances minérales, peuvent transmettre la décharge d'une bouteille de Leyde ou même celle du conducteur chargé d'une machine électrique. Coulomb, dans ses admirables travaux sur la déperdition lente de l'électricité s'était assuré que des cylindres faits de substances en apparence les plus isolantes, telles que le verre, la cire d'Espagne et la gomme laque elle-même, transmettent difficilement il est vrai, mais d'une manière sensible, l'électricité accumulée sur le conducteur d'une machine électrique avec lequel on les met en contact par une de leurs extrémités. C'est ce dont on s'assure soit par la perte d'électricité qu'éprouve le conducteur, soit par l'action électrique que deviennent capables d'exercer ces substances isolantes, ce qui prouve qu'elles se sont imprégnées d'électricité. Cependant Coulomb trouve que lorsque l'intensité de l'électricité n'est pas très-forte, un fil de gomme laque d'un millimètre de diamètre et de 50 de longueur environ suffit pour isoler complétement une balle de sureau de 12 à 15 millimètres de diamètre. Mais comme on le voit, cette propriété isolante n'est pas absolue; car Coulomb a lui-même observé que le degré de réaction électrique auquel des supports cylindriques très-fins commencent à isoler est, pour un même état de l'air, proportionnel à la racine carrée de leur longueur. Pour connaître la perméabilité de toutes les substances qui transmettent imparfaitement l'électricité, il faut déterminer l'intensité de la réaction électrique à laquelle l'isolement commence pour des fils de même longueur et de même diamètre mais de nature différente. C'est ainsi que Coulomb a trouvé que la valeur de cette réaction est dix fois plus forte pour un fil de gomme laque que pour un fil de soie.

Riess a soumis à l'expérience un certain nombre de substances pour savoir si elles sont conductrices ou non; il nomme conducteur un corps qui enlève instantanément l'électricité à un électroscope chargé avec lequel on le met en contact; conducteu

ait celui qui ne l'enlève que dans l'intervalle de quelques s; et non conducteur, celui qui, au bout de quelques mi- n'a pas modifié d'une manière sensible la divergence des d'or de l'instrument; cette dernière distinction est un itraire. Il a trouvé ainsi qu'un cylindre de sélénium de illimètres de diamètre et de 15 à 30 de longueur enle- tantanément l'électricité d'un électroscope avec lequel mis en contact, mais que tiré en un fil fin à la flamme, il ssi isolant qu'un fil de gomme laque; le sélénium ap- t donc aux corps non conducteurs, et le frottement le cilement électrique, pourvu que la surface en soit bien . L'iode est un conducteur imparfait; des cylindres de llimètres de diamètre et de diverses longueurs déchar- n électroscope dans une seconde, mais ne peuvent trans- t un courant voltaïque. De l'aluminium et du béryllium en e tassés dans des tubes de verre, terminés par des pointes iques, enlèvent très-promptement l'électricité à l'élec- e; mais Riess s'est assuré que ces deux substances ne t cette propriété qu'à la présence de l'eau condensée, car faisant sécher dans des creusets de porcelaine pendant mi-heure sous la température de 100°, elles deviennent nductrices. Le béryllium est même tellement isolant couche de moins d'un millimètre d'épaisseur ne change divergence de l'électroscope; avec l'aluminium, il faut, tenir le même résultat, que la couche ait au moins 5 mil- d'épaisseur[1].

dernière observation montre combien il est difficile, l s'agit de corps qui ne sont que des conducteurs im- de se mettre à l'abri des causes diverses qui peuvent à des résultats erronés. M. Karsten en signale une de expliquer aussi les conclusions contradictoires aux- ont arrivés un grand nombre de physiciens qui se sont

probable que l'aluminium, auquel on est parvenu dernièrement à consistance des métaux ordinaires et en particulier celle de l'argent, -bon conducteur comme les autres métaux, et que c'est à l'état parti- lequel il se trouvait dans les expériences de M. Riess, qu'était due sa ité imparfaite.

occupés de ce sujet, c'est la manière différente de prépar corps soumis à l'expérience. Ainsi ayant voulu détermi pouvoir conducteur des différents sulfures métalliques, il marqué que le sulfure d'antimoine à l'état de poudre conducteur parfait, tandis que lorsqu'on l'a fondu et coul un moule, il devient isolant; il est vrai qu'il se couvre d'une couche vitrifiée qui enveloppe un noyau cristallin, que, lorsque le refroidissement a lieu très-lentement, masse prend la texture cristalline et se comporte en c teur. Mais, d'un autre côté, le sulfure d'antimoine prod la voie humide est un parfait isolant. Il en est de m sulfures de cadmium et de zinc; mais préparés par sèche, ils sont conducteurs. Le sulfure d'étain, de cu plomb, de bismuth et de fer sont toujours conducteurs de que manière qu'ils soient préparés; le sulfure noir de me est un bon conducteur, tandis que le cinabre conduit faiblement; enfin les sulfures d'or et d'argent préparés p voie humide sont conducteurs.

Il existe également des liquides qui, quoique cons comme isolants, ne sont cependant en fait que des conduc imparfaits : tels sont, par exemple, les différentes es d'huiles, qui présentent entre elles à cet égard des diffé très-remarquables. M. Rousseau, qui a le premier obser différences, s'est servi dans ce but d'un appareil de son inve qui consiste dans une aiguille horizontale mobile sur un au moyen duquel elle peut communiquer avec un des d'une pile sèche, tandis que l'une de ses extrémités est rapprochée d'une boule fixe qui communique aussi a même pôle [1]. Si la communication est établie par un corp ou moins conducteur, l'aiguille est chassée de sa positio male; après avoir exécuté quelques oscillations, elle pren position d'équilibre qui dépend de la force de la pile, la

[1] M. Rousseau se sert, comme aiguille mobile, d'une aiguille aimant qu'elle revienne toujours à la même position quand il n'y a pas d'actio une aiguille non aimantée, de cuivre, atteint aussi bien le but et donne sultat plus sensible.

considérée comme constante pendant longtemps pour
pile. Maintenant, pour employer cet appareil à la
des divers degrés de conductibilité, il suffit de placer
jet que doit parcourir le fluide électrique les divers
l'on veut soumettre à l'expérience, avec la précau-
tre toujours égale l'épaisseur que l'électricité en doit
si l'écoulement de la quantité d'électricité nécessaire
duire la plus grande déviation n'est pas instantané,
que l'aiguille mettra pour parvenir à sa position stable
être pris pour la mesure du degré de conductibilité de
tance composée. Pour soumettre les liquides à ce genre
ve, M. Rousseau les place dans de petits vases métal-
qui communiquent par leur pied avec l'aiguille et la
puis il plonge dans le liquide une des extrémités d'un
allique recouvert en partie de gomme laque, afin que la
surface de métal soit toujours en contact avec le liquide;
re ensuite la durée du mouvement de l'aiguille, à partir
ment où la communication est établie par l'autre extré-
fil avec l'un des pôles de la pile, pendant que l'autre
mmunique avec le sol.
érant avec différentes huiles, M. Rousseau a observé un
curieux, c'est que l'huile d'olive possède une conduc-
rès-inférieure à celle de toutes les autres huiles végé-
animales. Ainsi pour produire une certaine déviation,
it semblable de part et d'autre, il fallait 40′ à l'huile
seulement 27″ à l'huile de pavot. Il suffit d'ajouter à
olive un centième seulement d'une autre espèce d'huile
uire de 40 à 10′ le temps nécessaire à la production du
let. Les graisses solides conduisent moins bien que les
imales, ce qui tient, ainsi qu'on s'en est assuré direc-
à la proportion de stéarine plus grande dans les pre-
ue dans les secondes. M. Rousseau n'a pu apercevoir
différence dans la propriété conductrice des liquides
ix, aqueux, acides, alcalins ou neutres, ce qui tient à
ec ces diverses substances, le temps que met l'aiguille à
son maximum de déviation est trop court pour qu'on
reconnaître des inégalités de durée. Mais ces inégalités

sont très-sensibles quand on soumet à cette épreuve la rési gomme laque, le soufre, substances qu'on trouve toute plus isolantes que la soie, le cristal et le verre ordinaire. Il facile de modifier l'appareil de M. Rousseau de manièr rendre susceptible d'indiquer des différences entre les cor sont moins distants les uns des autres, sous le rappor conductibilité; mais en tout cas il ne donnerait que l'ord pouvoir conducteur plus ou moins imparfait des corps, et j leurs rapports de conductibilité.

Avant de poursuivre l'exposition des travaux faits s degré plus ou moins grand de conductibilité des condu imparfaits, occupons-nous quelques instants de la m dont s'y fait la propagation de l'électricité. Nous avons exposé[1] les expériences et les théories de M. Faraday s sujet, à l'occasion de ses travaux sur les corps diélectri ainsi que les recherches de Harris et de Matteucci. L'idée f mentale de Faraday est que la propagation de l'électric fait dans les corps plus ou moins isolants par la polari des molécules successives, et que chaque corps possède, égard, un pouvoir spécifique qui lui est propre. Matt avait déjà confirmé cette théorie par son expérience re quable des lames de mica superposées qui se trouvent larisées, c'est-à-dire avoir sur chacune de leurs faces électricité différente, quand elles sont interposées entre armures fortement chargées d'électricités contraires; m a de plus démontré par des expériences directes que l'éb sation moléculaire se développe à un degré différent da divers corps isolants. Ainsi il a fait osciller un petit pen auquel il avait donné des charges électriques plus ou m fortes, devant trois sphères d'un diamètre très-grand en paraison de celui de la boule électrisée. Les trois sp placées successivement à une même distance du pendul trisé (une fois à 100 millimètres, une seconde fois à étaient une sphère de plomb, une sphère de soufre, une s de résine. La durée de 20 oscillations à 100 millimètr

[1] Tome I, pages 135 et suivantes.

istance a été en moyenne, avec une certaine intensité électrique, pour la sphère de plomb de 24″ $\frac{1}{2}$, pour celle de soufre e 30″ $\frac{1}{2}$, pour celle de résine de 32″ $\frac{1}{2}$; avec une autre intensité lectrique et pour une distance de 120 millimètres, ces nombres ont été différents, mais leurs rapports sont restés à peu près les mêmes, ce qui donne pour la moyenne des nombres qui représentent les rapports des forces :

Sphère de plomb.	1
Sphère de soufre.	0.6072
Sphère de résine.	0.4800

Ainsi, à distance, des sphères de nature différente éprouvent, de l'électricité du pendule, une influence différente, mais indépendante quant à son intensité relative, de l'énergie de la charge électrique.

Au contact, ces différences sont plus sensibles. Pour les estimer, M. Matteucci se sert de lames et de cylindres faits de diverses substances isolantes, qu'il touche successivement avec une boule métallique électrisée, tenue par un manche isolant ou avec un cylindre de gomme laque électrisé par frottement; puis il porte la lame ou le cylindre qui ont été touchés en face d'un petit pendule électrique. Si le corps qui a électrisé est isolant, le point touché de la lame ou du cylindre se trouve chargé d'électricité contraire à celle du corps électrisé, et autour de ce point d'électricité semblable. Si le corps qui a électrisé est conducteur, la lame ou le cylindre isolant se trouvent bientôt chargés de la même électricité que ce corps, à moins que la substance isolante n'ait une grande masse, et que le contact n'ait duré qu'un instant très-court, dans quel cas les points touchés ont une électricité contraire à celle du conducteur électrisé.

Au reste, il est facile de prouver par l'expérience directe la propagation de l'électricité dans un corps isolant. Il n'y a pour cela qu'à électriser avec le conducteur de la machine un cylindre d'acide stéarique : si on le frotte avec un drap de laine, on a des signes d'électricité négative; mais il suffit de fondre sa surface ou de la laver dans de l'éther sulfurique, pour voir re-

paraître les signes de l'électricité positive que la machine trique lui avait communiquée et qui s'était propagée dans intérieur.

Les lois de cette propagation ont été l'objet de reche longues et délicates de la part de M. Matteucci. C'est en op avec la balance de Coulomb, et en introduisant, après q boule mobile s'était écartée d'environ 30° de la fixe, une isolante qu'il mettait en contact avec cette boule, qu'il ju par la diminution de l'écartement des deux boules, de cilité avec laquelle la lame isolante avait enlevé de l'élec à la fixe, et par conséquent de son degré d'aptitude à pro l'électricité. Il avait soin de laisser durer le contact pe cinq minutes dans chaque expérience, et il appréciait p diminution de l'angle de torsion, après que la lame isol avait été enlevée, la quantité d'électricité qu'elle avait p la boule fixe. Les expériences ont été faites en varia charge initiale de la boule, l'étendue et l'épaisseur de la isolante, et en opérant essentiellement avec des lames de so quelquefois aussi avec des lames de gomme laque, de ve de mica. Dans chaque expérience on a noté la force élect initiale, la force électrique pendant le contact de la lam lante, et enfin la force *résiduelle*, c'est-à-dire qui avait pe après cinq minutes de contact : pendant ces cinq minu perte de l'électricité par l'air était absolument insensible.

Les résultats des nombreuses expériences faites de cette nière par M. Matteucci ne conduisent pas à des lois bien sim mais les conclusions n'en sont pas moins curieuses. Ai quantité d'électricité prise à la boule par la substance is est proportionnellement d'autant plus grande que la c électrique est plus forte; elle est également d'autant plu sidérable que la lame isolante est plus mince et moins étu ce qui tient à ce que l'effet est concentré sur un moins nombre de points et par conséquent proportionnellemen fort. Il en résulte que le passage de l'électricité d'une métallique à un corps isolant a lieu d'autant plus facileme celui-ci est plus mince, et présente à la boule le moindre n de points qui ne la touchent pas, de sorte qu'une boule s

boule électrisée perdrait la moindre quantité d'électricité possible dans le cas où elle serait posée sur une lame isolante très-épaisse et très-étendue, et qu'au contraire, la plus grande perte d'électricité aurait lieu en réduisant le corps isolant à une tige très-mince et très-courte [1].

Si les lames isolantes, quelle que soit leur nature, sont recouvertes d'une même feuille d'étain sur une de leurs faces, pendant que l'autre est en contact avec la boule mobile électrisée, on trouve que la force électrique de la boule diminue beaucoup plus, soit pendant, soit après ce contact, que lorsque la lame isolante n'est pas armée; ces résultats semblent démontrer la pénétration des charges électriques contraires qui se trouvent sur les deux faces de la lame isolante, l'une par contact, l'autre par influence, pénétration qu'il est facile de prouver directement. Pour cela il n'y a qu'à prendre un carreau cubique de sperma-ceti et le placer entre deux armures pour faire un tableau magique qu'on charge faiblement, mais longtemps. Puis, au moyen de lames de verre, on partage la pièce de sperma-ceti en plusieurs fragments qu'on trouve chargés jusqu'à une certaine profondeur d'électricité positive du côté de l'armure positive, et d'électricité négative du côté de l'armure négative. Si l'on remplace le sperma-ceti par des lames de mica appliquées les unes sur les autres, au lieu d'avoir des états électriques contraires sur les faces opposées de chacunes d'elles, on finit, pourvu qu'on emploie une forte électricité agissant longtemps, par trouver la même électricité sur les deux faces d'une même lame, en allant des lames extérieures vers le milieu, savoir, l'électricité positive sur les lames qui sont d'un côté, la négative sur celles qui sont de l'autre.

M. Matteucci estime, d'après ces expériences et d'autres que nous avons déjà rapportées [2], que les différences observées par Faraday et Harris, entre les diverses substances, quant à leur aptitude à modifier la charge électrique du carreau magique

[1] Ce résultat est d'accord avec l'observation de Coulomb, que pour produire l'effet c'est parfait; une tige mince doit être d'autant plus longue que la substance dont elle est faite est moins isolante.

[2] Tome I, page 148.

entre les deux armures duquel elles sont placées, ne tiennent pas à leur pouvoir spécifique inducteur, mais simplement à des différences dans la propagation de l'électricité, soit à leur surface, soit à une très-petite profondeur dans leur intérieur; preuve que les états électriques moléculaires peuvent se détruire dans les corps isolants, et l'électricité s'y propager comme dans les conducteurs, et que le pouvoir isolant ne consiste que dans la résistance plus ou moins grande à l'établissement et à la destruction successive des états électriques moléculaires. Remarquons aussi que cette électrisation moléculaire se développe et cesse dans les corps isolants au moment même où la présence du corps électrisé commence ou cesse.

Un fait assez remarquable, c'est que l'électricité négative se propage plus facilement que la positive, soit sur la surface, soit à l'intérieur des corps isolants. L'expérience se fait en chargeant les boules, tantôt d'électricité négative, tantôt d'électricité positive, et en comparant les résultats obtenus en mettant chaque fois la boule mobile en contact avec la face non armée de la lame isolante, la face armée étant en communication avec le sol. Les différences sont très-prononcées : la diminution de la force électrique pendant le contact, et de la force qui reste après le contact, est plus grande pour l'électricité négative que pour la positive, dans le rapport du double au simple. La différence est moins grande, quoique toujours sensible, quand les lames isolantes ne sont pas armées, mais elle est d'autant plus considérable que la charge électrique est plus forte. Il est évident que c'est dans cette propriété différente des deux électricités que se trouve la cause des figures de Lichtenberg[1], dans lesquelles l'électricité positive se propage sur une face isolante en ramifications, par conséquent en filets resserrés et distribués inégalement sur cette surface, tandis que la négative se propage uniformément en rayons également distribués autour du point électrisé.

Ajoutons encore que les différences de température, même les plus légères, font varier considérablement le pouvoir isolant

[1] Tome I, page 108.

ps, mais ces variations ne suivent pas les mêmes progres-
dans les différentes substances. Ainsi, avec des charges
iques assez fortes, le soufre est jusqu'à 20° moins isolant
gomme laque; c'est l'inverse au delà de 20°. Pour déter-
exactement la différence dans les deux cas, on prend
cubes de 6 centimètres de côté, l'un de soufre, l'autre de
e laque; chacun de ces cubes est coupé par le milieu, et
ratique au centre une cavité sphérique de la grandeur de
le mobile qui s'y trouve logée comme dans un moule.
bes étant bien desséchés, on y met la boule pendant quel-
moments; on trouve que la perte d'électricité étant à
$\frac{1}{117}$ dans l'air, elle est $\frac{1}{87}$ dans la gomme laque, et $\frac{1}{81}$ dans
re, et à 35°, $\frac{1}{21}$ dans la gomme laque, et $\frac{1}{40}$ dans le soufre.
faut pas confondre cette influence de la chaleur avec
i consiste à enlever de la surface de quelques corps, tels
terre et le mica, une mince couche d'humidité qui les
un peu conducteurs. Dans ce cas, l'élévation de la tem-
e augmente leur pouvoir isolant. Mais un réchauffe-
us fort le diminue; le verre, la résine, la cire, devien-
ducteurs à une température suffisante pour les amollir
e plus quand ils ont été amenés à l'état liquide. Le
à l'état de fusion, peut même conduire un courant
le de façon à agir sur le galvanomètre. Il est vrai
s ces conditions-là, il éprouve probablement une
n dans sa constitution chimique, ce qui peut expli-
modifications apportées à son pouvoir isolant; c'est ce
e également quand sa surface a été rayée par des dé-
électriques : on remarque, en effet, que les raies sont
p plus conductrices que le reste de la surface qui n'a
ltérée par le passage des décharges. Toutefois une sim-
ification dans la disposition des particules suffit bien
ration chimique pour expliquer les changements que
ouver la conductibilité des corps qui sont des conduc-
parfaits, et nous en trouvons une preuve remarquable
propriétés conductrices des cristaux, qui ont été étu-
e beaucoup de soin successivement par M. Wiedemann
. de Sénarmont.

Le premier de ces physiciens s'est servi pour cette ét
poudre de lycopode ou de minium dont il saupoudre la s
du corps soumis à l'expérience; puis il touche un point d
surface avec la pointe d'une aiguille isolée, par laquelle
arriver l'électricité positive d'une bouteille de Leyd
poudre légère se disperse tout autour de la pointe par l'e
la répulsion exercée sur elle par les points de la surfa
ont reçu l'électricité. Lorsque le corps saupoudré est une
de verre, on obtient autour de la pointe une figure cir
traversée par des rayons semblables aux figures de L
berg. Quand on remplace le verre par une paillette de gy
poudre ne se disperse plus d'une manière uniforme dans
les directions. On remarque deux directions principales
tralement opposées suivant lesquelles la dispersion a lie
plus de force; il en résulte une surface elliptique dont le
sont entre eux comme 2 ou 3 est à 1. Le grand axe d
ellipse forme un angle droit avec l'axe cristallographiqu
cipal, ce qui prouve que l'électricité se distribue plus
ment dans une direction perpendiculaire à l'axe princip
dans toute autre. Le même phénomène se présente av
sieurs autres cristaux, tels que la célestine, le quartz, l
tates de chaux et de cuivre, qui sont tous positifs. Par con
les substances cristallines négatives, telles que l'arragon
tourmaline et les spaths d'Islande, l'axe de l'ellipse form
la dispersion électrique de la poudre est parallèle à l'axe
lographique. Ces résultats opposés semblent indiquer
direction de la meilleure conductibilité électrique est au
dans laquelle la lumière se propage relativement le pl

M. de Sénarmont, qui avait déjà découvert l'inégale co
bilité des cristaux pour la chaleur dans différentes dir
était arrivé en même temps que M. Wiedemann [1] à des
tats analogues en ce qui concerne le pouvoir conducteu
l'électricité. M. de Sénarmont recouvre la surface de
mauvais conducteurs d'une feuille d'étain formant au

[1] Les recherches de M. Wiedemann ont paru peu de temps avant
M. de Sénarmont, mais les procédés des deux savants, quoique leurs
s'accordent en général, sont très-différents.

comme une enveloppe métallique; il a soin de ména-
s cette enveloppe un trou parfaitement circulaire, qui
nu une partie de la surface naturelle. Une pointe mé-
isolée placée au centre de l'ouverture, perpendiculaire-
la surface même du corps mauvais conducteur, est la
par laquelle arrive l'électricité. Celle-ci ne peut s'écouler
cheminant vers la circonférence et en franchissant un
non conducteur; elle a donc à surmonter des résistances
manifestent par des phénomènes lumineux. Comme tout
ymétrique, l'électricité arrivant au centre du cercle est
ée également de tous côtés par la circonférence conduc-
et ne peut être dirigée en plus forte proportion dans un
ns dans l'autre que par des différences de conductibilité
ficielle. Il est avantageux d'opérer dans l'air raréfié, parce
phénomène s'y régularise beaucoup; il est vrai que le
ntinu de l'électricité ne laisse pas dans ce cas de traces
mentes, mais il se manifeste dans l'obscurité par une
qui rend visibles toutes les particularités du phénomène
nt sa durée.

expériences ainsi conduites montrent que sur les ma-
omogènes, ou sur des cristaux du système régulier,
icité s'épanouit circulairement autour de la pointe cen-
couvre la surface du cercle d'une lueur uniforme; il en
même pour les cristaux du système prismatique à base
et rhomboédrique, mais seulement quand la face est nor-
l'axe de symétrie. Dans tous les autres cas, c'est-à-dire
faces parallèles et inclinées à l'axe de symétrie des cris-
ce système sur une face quelconque, ainsi que pour des
des autres systèmes, il existe une direction de conduc-
principale. On voit en effet alors la lueur s'échapper
nt du centre dans deux directions opposées, et former
diamètre lumineux qui s'oriente dans une direction
'épanouit un peu en éventail, et se balance par quelques
ons légères à droite et à gauche de sa véritable direc-
orientation est plus stable quand on laisse à l'air une
tension; quelquefois même, dans ce cas, des étincelles
es et instantanées viennent se mêler à la lueur violacée

permanente, et si l'on a saupoudré la surface de fleur de soufre, les étincelles laissent sur cette poussière la trace du trajet rectiligne qu'elles ont parcouru.

Les résultats obtenus par M. de Sénarmont montrent que quand la face du cristal contient dans son plan un ou deux axes de symétrie, la direction de conductibilité maximum est perpendiculaire ou parallèle à ces axes, mais que dans les autres cas, c'est-à-dire quand la face ne contient pas d'axes de symétrie dans son plan, cette direction ne peut être prévue *à priori;* elle doit être déterminée par l'expérience, et ne coïncide nécessairement ni avec les directions des axes d'élasticité optique, ni avec les directions des axes de conductibilité thermique. Toutefois, les analogies que présentent les propriétés optiques, calorifiques, magnétiques et électriques des cristaux, que nous avons déjà fait ressortir précédemment [1], et l'influence qu'exercent sur ces propriétés les axes de symétrie égaux ou inégaux sont de nature à démontrer qu'elles se rattachent à une cause commune, savoir, l'arrangement moléculaire, et à faire sentir l'importance de cette cause dans les phénomènes qui nous occupent. M. Knoblauch a, en effet, démontré de son côté l'influence de la forme cristalline sur l'électricité induite, en observant que les cristaux suspendus entre les pôles contraires de deux piles sèches y prennent une direction déterminée qui tient au mode de groupement de leurs particules.

Ajoutons encore que M. de Sénarmont, comme M. Wiedemann, a remarqué une différence très-prononcée entre l'électricité positive et la négative, quant à leur mode d'action dans les expériences relatives à la conductibilité superficielle des cristaux. Les résultats sont toujours très-confus et variables quand on fait arriver par la pointe l'électricité négative; ils ne sont bien déterminés qu'avec la positive. Nous reviendrons sur ces différences que présentent les deux électricités, mais auparavant nous devons en signaler une qui n'était qu'apparente et qu'on est parvenu à expliquer par les effets ordinaires et connus du courant électrique.

[1] Tome I, page 512.

Ermann avait cru trouver dans une classe particulière de conducteurs imparfaits, qu'il avait appelés *unipolaires*, la propriété de transmettre plus facilement l'une des électricités que l'autre. Il introduisait dans un morceau de savon bien sec deux fils de métal communiquant chacun avec l'un des pôles d'une pile voltaïque; les deux pôles conservaient leur tension, mais si l'on touchait le savon avec un corps conducteur, le pôle négatif se déchargeait, tandis que le pôle positif acquérait le maximum de tension qu'il possède quand, la pile étant isolée, on fait communiquer le pôle négatif avec le sol. Ermann avait trouvé la même propriété dans le blanc d'œuf desséché et dans la flamme du phosphore; il l'avait également remarquée dans les flammes d'hydrogène, d'alcool et des corps hydro-carbonés en général, mais avec cette différence que c'est le pôle positif qui se décharge avec ces flammes, tandis que le pôle négatif acquiert la plus forte tension. On avait en conséquence nommé les premiers corps unipolaires négatifs, et les seconds unipolaires positifs. Cette classification, outre ce qu'elle présentait de trop absolu, avait le défaut d'être basée sur une interprétation erronée des expériences. En effet, Ohm a montré que la cause du phénomène observé par Ermann ne réside point dans une propriété de la substance interposée entre les pôles de la pile, mais qu'il tient à l'effet qu'y produit, dès que le circuit est fermé, le courant qui la traverse. Cet effet consiste dans la décomposition du savon, dont l'acide stéarique ou oléique se porte au pôle positif, tandis que la soude va au négatif; ces acides étant d'une nature isolante, dès qu'ils ont recouvert le fil sur lequel ils se déposent, l'électricité du pôle auquel ce fil communique, c'est-à-dire la positive, ne peut plus passer dans le savon, tandis que la négative continue à y être transmise et s'écoule de là dans le sol. Ainsi le pôle négatif de la pile est déchargé, tandis que le positif garde sa tension. Cette interprétation toute naturelle de l'expérience d'Ermann se trouve confirmée par un grand nombre de faits. Il suffit, en effet, de mettre en communication avec le pôle négatif le fil qui aboutissait au pôle positif, et qui par conséquent est recouvert de la couche d'acide, pour voir l'électricité négative comme l'était auparavant la posi-

tive. Il faut, pour réussir dans ces expériences, avoir une énergique, car sans cela les produits de la décomposition en si petite quantité, qu'ils ne peuvent mettre obstacle à la culation du courant.

Quant à l'unipolarité des flammes hydrogénées, il est bable qu'elle est due à la décomposition voltaïque de la v d'eau formée dans la combustion, décomposition qui déte sur la surface du fil négatif le dépôt d'une couche im d'hydrogène, d'où résulte que l'électricité positive peut s'écouler dans le sol au moyen du fil métallique placé da flamme. Nous reviendrons d'ailleurs sur ce qui concerne le voir conducteur des flammes dans le paragraphe suivant, sacré à la propagation de l'électricité dans les fluides é tiques.

L'acide sulfurique concentré, placé dans les mêmes condi que le savon et les flammes, est un conducteur unipolair gatif, ce qui provient de la formation sur les fils positi sulfates insolubles et non conducteurs; mais l'effet varie la nature des fils immergés dans l'acide, vu que les uns for des sulfates plus solubles et plus conducteurs que ceux forment les autres. Au reste, toute cette classe de phéno n'est que le résultat des actions secondaires qui accompa toujours la transmission de l'électricité à travers les co teurs susceptibles d'être décomposés, et à ce titre elle beaucoup de son importance théorique, et rentre dans la gorie des faits nombreux qui tiennent à la même cause, d nous étudierons dans le chapitre des décompositions élec chimiques [1].

[1] Nous n'avons pas fait mention, dans ce que nous venons de dire conducteurs unipolaires, des expériences d'Ermann, relatives à l'action réel isolante et conductrice que le platine incandescent de la lampe aphlogisti Davy exerce sur les deux électricités. Ces phénomènes, dans lesquels on cru d'abord trouver des preuves en faveur de la théorie de Franklin d'un électricité, sont très-complexes, et dépendent essentiellement de la pre d'électricité qui accompagne la combustion lente qui a lieu dans la lampe gistique. Aussi leur étude doit être nécessairement renvoyée au moment où nous occuperons des diverses sources de l'électricité.

Nous n'avons jusqu'ici parlé, en nous occupant des conducteurs imparfaits solides et liquides, que de la propagation lente et graduelle de l'électricité qui peut s'y opérer, mais ces conducteurs peuvent transmettre l'électricité suivant un mode tout différent, c'est-à-dire brusquement et instantanément. Ce mode de transmission est accompagné dans ces corps d'une rupture dans leur équilibre moléculaire, qui se présente sous différentes formes, mais qui a toujours lieu ; il est également accompagné souvent d'effets lumineux, calorifiques et chimiques, mais la production de ces effets n'est pas une condition nécessaire de la transmission de l'électricité ; aussi nous les étudierons plus loin dans les chapitres qui leur sont consacrés, tandis que les phénomènes moléculaires étant liés au mode même de propagation dont il s'agit, nous ne pouvons séparer leur étude de celle de ce mode de propagation.

Quand on place une lame mince de verre ou de mica entre les deux extrémités des tiges d'un excitateur, elle est, ainsi que nous l'avons déjà vu, percée d'un trou par la décharge d'une batterie électrique ; il en est de même d'un morceau de bois sec qui est fendu et brisé en plusieurs fragments qui sont dispersés tout autour. Les bords du trou, quand il s'agit de verre ou de mica, deviennent opaques ; on voit que l'état moléculaire de la substance y a été altéré. Si l'on place les deux extrémités des tiges de l'excitateur à quelque distance l'une de l'autre, mais du même côté, sur la surface d'une plaque de verre, la décharge s'opère au moyen d'une étincelle qui passe sur cette surface, en y laissant des traces ineffaçables de la route qu'elle a suivie. Sur du verre dur et sur le cristal de roche, ces traces sont pâles, d'un gris uni, résistent sous l'ongle parfaitement, comme si l'on eût altéré le poli de la surface en la frottant avec un sable grossier. Sur le verre mou, sur le mica et sur les cristaux tendres, les traces que laisse la décharge présentent un autre aspect ; elles semblent indiquer que la matière a éprouvé un changement chimique jusqu'à une certaine profondeur, changement qui donne naissance aux figures électriques observées par Riess et différents physiciens : ce changement chimique accompagne presque toujours l'effet mécanique, car les traces

que le verre le plus dur présente sur sa surface ap
charge sont légèrement alcalines, ainsi qu'il est fa
constater en les frottant avec du papier rougi de tou

Nous avons déjà cité l'expérience de la carte qui, l
a été percée par la décharge, présente des bavures des d
et dont le trou est toujours vis-à-vis de la pointe
quand ces deux pointes ne sont pas vis-à-vis l'une
ce qui tient, comme nous le verrons, à l'inégale pr
les deux électricités éprouvent de la part de l'air.

Quand la décharge traverse les liquides, il y a tou
sont des conducteurs imparfaits ou plutôt des isolant
l'huile d'olive, l'éther sulfurique et l'essence de tér
un effet mécanique accompagné d'une étincelle. L
renferme ces liquides est le plus souvent brisé par l'
décharge même modérée : ainsi, s'il est en bois, il pe
lemment renversé par une étincelle longue de un n
pour qu'il soit brisé, il faut que l'étincelle soit un
forte. Singer a réussi à briser en plusieurs fragments d
verre dont les parois avaient plus d'un centimètre d'
en faisant passer une décharge à travers une colon
dont les tubes étaient remplis; il est vrai qu'on avait
fermer hermétiquement les extrémités par lesquelle
introduit les fils destinés à transmettre la décharge.
effet est produit quand le tube est rempli d'un liquid
ducteur, comme du mercure, par exemple, ou de l'a
rique; seulement il faut que le tube soit capillaire,
longueur de la colonne liquide ne soit pas trop co
Morgan a remarqué qu'avec l'acide sulfurique conce
tube capillaire de 2 millimètres de diamètre, la pl
longueur à laquelle l'explosion *brisante* et *lumineus*
temps puisse avoir lieu, est de 50 centimètres enviro

Le passage des décharges à travers les liquides ma
ducteurs, tels que les huiles et les essences, élève leu
ture et y produit un dépôt de charbon provenant d
composition, qui finit par augmenter légèrement l
conductrice. C'est probablement un effet de la haute te
de l'étincelle plutôt que de l'électricité même; c'est c

ons à démontrer plus loin. Morgan, qui le premier servé ce fait, avait également remarqué que parmi les , les huiles sont ceux qui laissent passer la décharge le facilement, tandis que l'alcool et l'eau surtout, quand chauffée, la transmettent beaucoup mieux, au point ns ce dernier cas, elle n'est plus lumineuse.

reste, l'effet explosif de la décharge à travers les corps leurs a lieu également, qu'ils soient solides ou liquides le mercure. Ainsi, lorsque l'on place une feuille d'or ince entre deux plaques de verre, dont la supérieure est e de poids, l'or est réduit en poussière et les plaques sont t mises en pièces [1]. De même un fil de fer très-mince de entimètres de longueur, traversé par une décharge qui le en poussière, est capable de briser en mille fragments, t projetés au loin, un tube de verre large d'un peu plus entimètre dans l'intérieur duquel il est placé; il faut oin de faire arriver la décharge par deux gros fils de mé- oduits chacun par l'une des extrémités du tube et qui is par le fil de fer. Si l'on a soin d'entourer ce fil d'un u de papier, le papier est déchiré, mais le verre n'est dommagé. L'action est infiniment plus violente quand le entouré d'eau ou d'huile, ce qui tient à ce que les s étant incompressibles, ou à peu près, transmettent anière beaucoup plus complète et plus instantanée que pression qu'ils éprouvent. On peut fendre des canons de s en les remplissant d'eau ou d'huile, et en ayant soin er dans le liquide une mince bande de plomb, que la e pulvérise.

tous les cas où le corps qui est traversé par la décharge allique, il y a un grand développement de chaleur. une vaporisation subite, produite par cette chaleur, effets mécaniques que nous venons d'étudier peuvent ribués? Cela serait possible quand il s'agit du mercure, tte interprétation du phénomène devient plus difficile

[1] Nous avons déjà cité cette expérience de la feuille d'or, mais sous une forme différente. Voyez tome I, page 118.

pour l'or et surtout pour le fer. Il semblerait donc, q
pendamment de la chaleur qu'elle développe, la déchar
duirait même, dans les corps très-conducteurs, quand
éprouve de la résistance, une rupture mécanique et com
espèce d'expansion subite très-énergique. Cependant c
mérite un examen très-attentif : nous le réservons pour
ment où nous nous occuperons des effets calorifiques
charges, qui sont entièrement liés avec leurs effets méca
comme Riess l'a si bien démontré.

En résumé, tous les phénomènes que présente la propag
soit lente, soit instantanée, de l'électricité dans les condu
imparfaits, manifestent la liaison intime qui unit cette
gation avec l'état moléculaire des corps. Là où la propa
est lente, tout ce qui modifie l'état moléculaire influe su
cristallisation, liquéfaction, simple élévation de température
où la propagation est instantanée, c'est l'état moléculai
est influencé par elle. Il est donc très-probable que la diff
sensible qui existe à cet égard entre les bons conducteur
conducteurs imparfaits tient à ce que, dans ceux-ci, l'inf
de la polarité des atomes, que nous avons établie précédem
est beaucoup plus sensible. En effet, l'imperfection mê
leur pouvoir conducteur fait que les électricités contrair
duites à leurs pôles, c'est-à-dire aux extrémités de leur
peuvent pas se réunir par leur surface aussi facileme
chez ceux qui sont doués d'une bonne conductibilité; il
sulte un état polaire des particules qui les oblige de chan
position pour se disposer d'une manière harmonique a
deux électricités entre lesquelles elles sont placées, tandis
particules conductrices éprouvent seulement l'effet d'inf
ou de polarisation artificielle, et non naturelle, que nous
admise pour expliquer la manière dont l'électricité se p
dans les corps conducteurs. Nous verrons bien d'autres p
de cette polarité préexistante des particules des corps no
ducteurs, quand nous nous occuperons du dégagement
tricité auquel ces corps donnent naissance par l'effet de l'
tion de la température.

§ 8. Propagation de l'électricité dans les fluides élastiques.

Les gaz, quand ils sont bien secs, et en particulier l'air atmosphérique, passent pour être des corps parfaitement isolants; cependant ils sont susceptibles de propager l'électricité plus ou moins facilement, il est vrai, suivant leur nature et suivant les conditions dans lesquelles ils se trouvent placés.

Coulomb avait déjà cherché à apprécier la perte d'électricité qu'éprouve un corps électrisé bien isolé par l'effet du contact de l'air. Il avait réussi à éliminer la cause de déperdition qui aurait pu provenir du support isolant, en employant pour isolateur un fil de gomme laque d'un millimètre de diamètre et de 40 à 50 de longueur, et en donnant au corps isolé, qui était une balle de moelle de sureau de 12 à 15 millimètres de diamètre, une électricité qui ne fût pas très-forte. Cette balle était placée à la balance de torsion vis-à-vis d'une balle mobile également bien isolée, puisque l'aiguille qui la portait était aussi un cylindre fin de gomme laque; cette balle mobile avait la même électricité. La perte d'électricité opérée par le contact de l'air devenait sensible par la diminution graduelle de la force répulsive des balles, qu'on appréciait par la diminution de la force de torsion nécessaire pour les maintenir à la même distance l'une de l'autre, à 20°, par exemple. Il était facile, avec une montre à secondes, de déterminer exactement le rapport existant entre une certaine diminution de force répulsive et le temps nécessaire pour que cette diminution eût lieu. En comparant cette diminution avec la force répulsive moyenne entre deux expériences successives, Coulomb trouvait une fraction qui exprimait la proportion de la force électrique des deux balles perdue pendant une minute, dans un certain moment. Dans les tableaux que Coulomb a donnés de ces résultats, on trouve que cette fraction varie de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{20}$; on remarque également que, pour un même jour et un même état de l'air, l'affaiblissement de l'électricité dans un temps très-court est proportionnel à son intensité, et il varie suivant une loi difficile à déterminer avec l'état

hygrométrique de l'air. La nature de la substance d
balles sont faites ne paraît pas causer d'influence sur la
dition de l'électricité par le contact de l'air. Il en est d
de la forme, pourvu qu'elle ne soit pas angulaire, cas
quel l'électricité, comme on le sait, s'échappe du corp
manière irrégulière. Coulomb ne trouvait pas non plus
férence entre les deux électricités, quant à l'intensité et
de leur déperdition par le contact de l'air.

Faraday, dans ses recherches sur les corps diélectriqu
tant, comme nous l'avons vu, du principe que la comm
tion de l'électricité s'y fait par la polarisation des mol
successives, avait soumis à l'expérience divers gaz et l'ai
férents états de densité, en faisant usage de l'appareil qu
avons décrit et qui est destiné[1] à déterminer le pouvoir
teur spécifique des corps. C'est, comme on se le rappelle
véritables bouteilles de Leyde, parfaitement semblables
lesquelles les substances isolantes interposées entre les a
sont celles dont on veut comparer les pouvoirs inducte
savant physicien anglais, en opérant de cette manière,
apercevoir aucune différence sensible à cet égard entre le
gaz et l'air plus ou moins raréfié et plus ou moins éc
Seulement il faut éviter, dans ces expériences, de pou
tension électrique jusqu'au point où la décharge aurait l

M. Matteucci a repris le sujet de la propagation de l'éle
dans les corps gazeux, et a réussi à en déterminer les l
une nombreuse série d'expériences faites avec beauc
soin. Il s'est servi, pour la mesure des forces électriq
plusieurs balances de Coulomb, munies de fils de torsio
longueur et d'un diamètre différents, suivant les forc
triques avec lesquelles il opérait. Au lieu d'employer,
Coulomb, des boules de moelle de sureau, qui ont l'i
nient de devenir un peu isolantes dans l'air très-sec, il a
faire usage de boules de même dimension, mai
avec une lame très-mince d'argent doré. Du reste, le
riences étaient conduites de la même manière; seulem

[1] Tome I, p. 131, fig. 67.

boule, fixée à la tige isolante qui agit sur la mobile, est retirée de la balance pour être placée dans diverses conditions qui influent dans un sens ou dans l'autre sur la déperdition de son électricité; puis elle est reportée à la balance au bout d'un temps, toujours le même, afin qu'on puisse déterminer la perte qu'elle a éprouvée. L'air de l'intérieur de la balance est aussi sec que possible, de sorte qu'on peut admettre que la perte éprouvée par la boule de la balance, dans dix minutes, est très-petite, et toujours la même pour toutes les expériences.

Voici les résultats auxquels a conduit ce mode d'expérimentation :

1° La perte de l'électricité par le contact de l'air n'est pas augmentée par l'agitation de l'air; au contraire, la perte de l'électricité dans l'air agité est moindre que celle qui a lieu dans l'air en repos. Ce résultat, singulier en apparence, s'explique facilement si on tient compte du temps qu'il faut probablement aux particules pour se polariser et transmettre ainsi l'électricité au corps avec lequel elles sont en contact.

2° La perte d'électricité qu'éprouve un corps, par le contact de l'air, est influencée par les corps qui sont en présence, et varie avec l'état électrique de ces corps. Ainsi la perte la plus petite a lieu quand le corps électrisé est en présence d'un corps qui possède une électricité contraire à la sienne; elle est plus considérable quand le corps en présence n'est pas électrisé et communique avec le sol, et surtout quand les deux corps ont la même électricité. Pour faire ces expériences, on place, pendant dix minutes, la boule électrisée qu'on retire de la balance, ou de manière qu'elle soit isolée dans l'air, ou en présence d'une sphère métallique isolée et chargée, tantôt de la même électricité, tantôt de l'électricité contraire, ou dans le centre d'une sphère métallique en communication avec le sol.

Voici le tableau des expériences faites de cette manière dans de l'air ayant la même température et le même degré d'humidité.

NOMBRE des expériences.	DISTANCE des boules.	TORSION du micromètre.	APRÈS dix minutes.	DISTANCE des boules.	TORSION du micromètre.
1	20°	188°	10m	20°	102°
2	20	188	10	20	136
3	20	188	10	20	96
4	20	188	10	20	164
5	20	188	10	20	83
6	20	188	10	20	162
7	20	198	10	20	131
8	20	198	10	20	169
9	20	102	10	20	25
10	20	102	10	20	67

Il suffit de comparer entre eux les résultats décrits dans le tableau précédent pour avoir la démonstration de cette proposition. Dans la première expérience, la boule a été laissée dans l'air pendant dix minutes, et dans la seconde, elle a été, pendant le même temps, au centre d'une sphère creuse de métal qui était en communication avec le sol. Cette sphère avait 1 décimètre de diamètre, et la boule y était introduite par une ouverture de 3 centimètres. Dans la troisième expérience, la boule est restée pendant dix minutes en présence d'une boule de métal de 2 centimètres de diamètre et isolée. Les centres des deux boules étaient à la distance de 12 centimètres. Dans cette expérience, les deux boules avaient la même électricité, tandis que, dans la quatrième, la grande boule était chargée d'électricité contraire à celle de la boule de la balance. Dans la cinquième et dans la sixième expérience, on a opéré comme dans la troisième et la quatrième. Dans la septième expérience, la boule de la balance a été dans l'air, tandis que, dans la huitième, la boule était au centre de la sphère métallique. On a opéré de la même manière dans les neuvième et dixième expériences.

3° La perte de l'électricité dans les gaz purs, et autant que possible privés de vapeurs aqueuses, est indépendante de son intensité et par conséquent constante, du moins pour des quan-

d'électricité comprises entre certaines limites. Cette loi re de celle trouvée par Coulomb en opérant dans de l'air ou moins humide, et qui consistait en ce que la perte, un temps donné, était toujours en même proportion de antité totale de l'électricité. C'est en s'entourant de toutes précautions possibles pour opérer dans de l'air et dans des rfaitement desséchés au moyen de l'acide phosphorique, multipliant les expériences faites, soit d'après la mé- de Coulomb, soit suivant une méthode légèrement dif- . que Matteucci a obtenu la perte de l'électricité dans nute, c'est-à-dire dans l'unité de temps. Nous ne rap- ns pas ici les tableaux des résultats, qui montrent que, les différences, d'ailleurs très-petites, qui existent tan- un sens, tantôt dans le sens opposé, et qui sont inévi- nt dues aux erreurs d'expériences, la perte de l'élec- st constante. Les expériences ont été faites au moyen balles électrisées, dont on mesurait la force répulsive, es ramenant à la même distance, suivant le procédé de b, soit en les tenant à une distance variable. Dans ce cas, on trouve que la perte est plus grande quand la est moindre, ce qui est d'accord avec la seconde loi plus haut.

perte de l'électricité est la même dans l'air, dans l'hy- et dans le gaz acide carbonique bien secs et pris à la mpérature et à la même pression. Les expériences qui duit à ce résultat ont été faites à des températures qui é de 8 à 11° : on choisissait des jours où l'atmosphère s-sèche; on faisait le vide dans la cloche de la balance, t soin d'y renouveler, chaque fois qu'on opérait avec un gaz, l'acide phosphorique qu'on y plaçait, puis on ntrer le gaz en l'introduisant très-lentement à travers de Liebig rempli d'acide sulfurique concentré.

perte de l'électricité, qui, dans les gaz secs et purs, est en général pour l'électricité positive et pour la né- levient plus rapide pour l'électricité négative que pour ve quand les charges électriques sont très-fortes. Cette ion importante déjà signalée par Belli, et que confirment

d'autres faits relatifs aux décharges que nous étudieron l'instant, est établie par une série d'expériences faites e trisant les deux boules de la balance, tantôt d'électricit tive, tantôt de la négative. On attend que l'aiguille s'arrête à un certain nombre de degrés, à 15°, par ex puis on note l'instant au chronomètre; on détord très- ment le fil, du nombre de degrés nécessaire pour qu guille revienne à 15° au bout du même temps, 10 mi par exemple, qui est l'intervalle de temps entre les deux vations. Le tableau suivant montre combien la torsion être plus diminuée dans les mêmes circonstances pour tricité négative que pour la positive, d'où il faut conclu pour des charges électriques comparativement assez for perte dans l'air a été bien plus grande pour l'électricité tive que pour la positive.

TORSION et arc de répulsion.		TORSION et arc de répulsion.
ÉLECTRICITÉ POSITIVE.		ÉLECTRICITÉ POSITI
140° + 15° 117 + 15 90 + 15 35 + 15		127° + 15° 107 + 15 75 + 15 27 + 15
ÉLECTRICITÉ NÉGATIVE.	APRÈS dix minutes.	ÉLECTRICITÉ NÉGATI
140° + 15° 117 + 15 90 + 15 35 + 15		90° + 15° 66 + 15 60 + 15 12 + 15

6° La perte de l'électricité augmente dans l'air sec température. Les expériences destinées à établir cette

être faites que dans des limites très-restreintes de ature, entre 0° et 18°, car déjà au-dessus de 20° l'éléva- la température diminue la faculté isolante des tiges de gomme laque. Néanmoins, même entre ces limites, nce de la température sur le pouvoir isolant de l'air est très-sensible. Ainsi à 18° la perte de l'électricité eule isolée était de $\frac{1}{100}$, tandis qu'à 0° elle n'était que est-à-dire seulement la moitié.

perte de l'électricité dans l'air sec diminue avec la on de la densité de l'air. Ainsi la divergence d'un ope dans de l'air raréfié, à 3 millimètres de pression, même au bout de deux jours qu'au commencement de nce, ce qu'il était impossible d'obtenir avec de l'air nsité plus grande. Cette expérience semble bien prou- est par les particules mêmes de l'air que l'électricité puisque moins il y en a, moins l'écoulement est ra- faut seulement remarquer que la quantité absolue ité qui peut rester, sans s'échapper à l'état de tension, urface d'un corps conducteur isolé, est beaucoup quand l'air est raréfié que quand il est sous une plus forte. M. Matteucci en conclut que dans le vide n'y aurait point d'électricité retenue sur la surface conducteur ; nous verrons plus loin jusqu'à quel point clusion peut être admise.

perte de l'électricité dans l'air pris à une température pression constante augmente avec la quantité de va- au contenue dans cet air, mais non suivant une loi comme Coulomb l'avait cru. Ce n'est que dans l'air ent de très-grandes quantités de vapeur d'eau, que la rouve approximativement proportionnelle à la tension quantité de vapeur d'eau, quelle que soit la tempéra- chose assez remarquable, c'est que la présence, dans rès-sec, d'autres vapeurs, telles que celles du cam- quelques huiles essentielles et même de l'éther sul- n'exerce aucune influence sur la perte de l'électricité. teucci, dans le travail important qui l'avait conduit ltats que nous venons de rappeler, avait cherché à

déterminer l'influence que peut avoir sur la perte de l'électricité la nature du corps électrisé. Comme Coulomb, il n'avait trouvé, à cet égard, aucune différence entre des boules ou disques métalliques, ou des boules ou disques de gomme laque; mais à une condition, c'est que la gomme laque soit électrisée par l'étincelle d'une machine, car si elle est électrisée par frottement, il y a une différence constante, ce qui tient très-probablement à ce que l'électricité, au lieu de n'être qu'à la surface, comme dans le premier cas, pénètre plus profondément et, par conséquent, ne peut pas s'échapper aussi facilement.

Après avoir étudié les lois de la propagation lente, soit de perdition de l'électricité dans les gaz, occupons-nous de celles auxquelles est soumise la propagation rapide qui peut s'opérer, soit par décharges, soit d'une manière continue, sous forme de courant.

On sait que lorsque le conducteur chargé de l'une ou l'autre des deux électricités est terminé en pointe, cette électricité s'écoule dans l'air avec facilité. Cette propriété des pointes, que nous avons déjà signalée, est fondée sur la grande densité que l'électricité y acquiert en vertu des lois de sa distribution. Elle peut être diminuée et même annulée si l'on place la pointe dans l'intérieur d'un conducteur creux; par exemple, si une pointe qui est fixée sur un disque métallique isolé et électrisé se trouve au milieu et dans l'axe d'un cylindre creux métallique plus élevé qu'elle, qui lui-même repose sur le disque. Une fois l'électricité accumulée à la pointe, elle sort et se propage en déterminant dans l'air un mouvement mécanique assez violent, qui tient probablement à la répulsion exercée par la pointe sur les particules d'air en contact avec elle, auxquelles elle a communiqué son électricité. Les corps en combustion, et les flammes en particulier, exercent le même effet que les pointes. Si l'on place, par exemple, deux disques métalliques l'un au-dessous de l'autre, l'inférieur communiquant avec le pôle d'une pile sèche qui l'électrise et le supérieur avec un électroscope, il suffit de placer dans le premier un fragment d'amadou incandescent pour que l'électroscope qui est lié au

iverge fortement. L'amadou agit donc dans ce cas
me pointe, car on peut annuler son effet comme celui
nte en l'entourant d'un cylindre creux, ce qui prouve
l'est point la fumée qui transporte l'électricité, car elle
à monter comme auparavant en une épaisse colonne
isque supérieur. L'influence de l'amadou incandescent
tir aussi bien en déchargeant le disque inférieur qu'en
t le supérieur. Elle agit également de haut en bas
bas en haut.
fait sur ce sujet un grand nombre d'expériences, en
t une mèche de coton et des bougies allumées; mais
pper à l'influence perturbatrice de la fumée, il a
éférable de faire usage d'une préparation de salpêtre
bon unis ensemble avec de la gomme astringente, de
n faire des bougies de la longueur de 3 centimètres
l a constaté ainsi l'influence des enveloppes conduc-
empêchent le corps incandescent de décharger l'élec-
disque sur lequel il repose et de charger le disque qui
ché de lui, et il a établi d'une manière péremptoire
complète qui existe entre le mode d'action de ces
elui des pointes. Ce n'est donc pas au moyen des pro-
eur combustion que les corps incandescents exercent
riété conductrice, mais en vertu d'un état particulier
rface, qui se conduit comme si elle était recouverte de
ès-fines. Au reste, l'action des pointes très-courtes,
parfaites, est constatée par une ancienne expérience
elle on réussit à décharger un conducteur électrisé
ésentant à distance un morceau d'amadou fait avec
du chêne, sans avoir même besoin de l'allumer,
nt aux pointes très-fines, à peine visibles, dont toute
e de cette espèce d'amadou est recouverte. Il est
s'assurer de l'existence dans un corps en combustion
semblables, qui se détruisent et se renouvellent con-

s corps dont la combustion produit une flamme, ce
etits filets de vapeur et les pointes de charbon qui
t l'électricité, ainsi qu'on le prouve en remarquant

que la flamme ne perd point sa propriété conductrice en étant entourée d'un tube de métal, comme cela a lieu lorsque le corps incandescent perd son électricité par l'effet des pointes dont il est recouvert. On peut même voir, dans une expérience bien simple, l'action de ces deux portions conductrices de la flamme se succéder visiblement. Si on éteint subitement une bougie de cire qui brûlait avec vivacité, on voit la vapeur que renferme sa flamme agir encore pendant quelques secondes comme conductrice; puis la mèche imprégnée de cire fondue cesse d'agir, de sorte que la fumée n'exerce plus aucune influence sur le corps électrisé qu'on en approche. Mais quand la cire cesse d'arriver à la mèche, celle-ci devient incandescente, et alors les petites pointes de charbon qui s'y forment conduisent l'électricité pendant un court instant.

La propriété des corps en combustion de conduire l'électricité peut servir à deux usages importants : le premier à enlever à un corps isolant son électricité en promenant autour de lui une petite flamme d'alcool ou la pointe d'une bougie allumée; le second, à augmenter la sensibilité d'un électroscope destiné à percevoir une électricité éloignée, en plaçant sur lui un corps enflammé qui a le pouvoir de soutirer l'électricité à une plus grande distance encore qu'une pointe.

Dans tout ce que nous avons dit sur les corps en combustion, nous n'avons eu aucun égard à la nature de l'électricité employée; leur conductibilité est en effet la même pour l'une et pour l'autre électricité, pourvu que la combustion soit vive et parfaite, et que, lorsqu'on fait usage de l'amadou et du charbon, on ait soin de les dégager fréquemment de leurs cendres. Sans ces précautions, on aperçoit fréquemment que l'une des électricités est plus facilement conduite que l'autre, ce qui tient à ce qu'il a de l'électricité développée dans l'acte même de la combustion. Ce n'est donc que lorsque nous nous occuperons des sources mêmes de l'électricité, que nous pourrons apprécier la part d'influence que peut avoir dans le pouvoir conducteur des flammes le dégagement d'électricité qui accompagne leur production.

Lorsque l'électricité s'écoule par une pointe, nous avons

ı cet écoulement est accompagné d'un mouvement de
ıi est semblable à celui d'un souffle frais, et qui a été
é vent électrique. Ce vent peut être rendu sensible en
ıirigé contre la flamme d'une bougie, contre les ailes
etit moulin de carton qu'il fait tourner, contre de la
de lycopode placée sur l'eau qu'il chasse devant lui.
cette agitation de l'air ou plutôt à la répulsion que le
électrique qui le traverse exerce sur celui de la pointe
ort, qu'est due, comme nous l'avons vu, la rotation du
t électrique. En effet, dans l'air raréfié, ce mouvement
lieu, et il suffit aussi de placer le moulinet au milieu
e dont les parois, très-rapprochées de lui, sont char-
la même électricité que celle qu'on lui transmet, pour
ıtation cesse également. Le vent électrique favorise le
sement et la vaporisation des liquides. C'est ce qu'avaient
ıarqué depuis longtemps plusieurs physiciens, mais ce
ier a constaté d'une manière positive. Dans ce but, il
ıcé au-dessus d'un vase de platine rempli d'eau, à une
de 15 à 18 centimètres, une boule métallique ou un
de fils de métal terminés en pointe. L'eau ayant été
à 80° ou 90° cent., il commença à s'élever de la surface
urs visibles ; mais ce nuage de vapeur devint beaucoup
sidérable dès que l'on fit arriver aux pointes l'électri-
ıe machine. Un thermomètre sensible, placé dans l'eau,
t aussi par son abaissement une augmentation dans
tité de vapeur formée. Le phénomène n'était pas dû
ıent au renouvellement de l'air sur la surface du liquide
; c'est ce dont M. Peltier s'assura en renouvelant arti-
ıent l'air au-dessus de cette surface, au moyen d'un
ur ; l'effet était toujours moins considérable que celui
luisait le vent électrique.
mment la transmission rapide de l'électricité à travers
lucteurs imparfaits, tels que l'air, tend à faire écarter
des autres les particules ; c'est ce qu'on voit très-bien
ans l'obscurité on étudie l'aigrette lumineuse qui est
e de filets divergents formés de petites particules ren-
mineuses par le passage de l'électricité. Cette même

tendance s'observe également dans les cas où les conducteurs imparfaits sont liquides. Ainsi Faraday a remarqué qu'en faisant passer l'électricité provenant du conducteur d'une machine électrique dans de la cire à cacheter rendue fluide par la chaleur, il s'en détache des fils très-fins, qui recouvrent comme d'une laine fine un papier placé au-dessous. Une goutte d'eau gommée, suspendue à l'extrémité d'une tige par laquelle lui arrive l'électricité, se résout en fils déliés quand on la plonge dans de l'essence de térébenthine mise elle-même dans un vase dont le fond métallique permet à l'électricité de s'échapper. Une goutte de mercure ou de chlorure de calcium s'allonge et devient pointue, et il s'en détache des petites gouttelettes qui sont entraînées par l'électricité dans l'air où se fait l'expérience. En se servant d'une goutte d'eau gommée, on observe, suivant la force de l'électricité qui lui arrive, des phénomènes assez divers. D'abord la goutte se transforme en cône; puis, à mesure que l'électricité augmente d'intensité, on voit une partie du liquide être entraînée, le reste devenir plus pointu et prendre une surface frisée, avec le bruit particulier aux aigrettes; enfin, avec une électrisation plus forte, une portion plus considérable du liquide est entraînée, la goutte restante s'allonge et se retire par accès en formant une forte aigrette lumineuse. Quand on fait arriver à la goutte d'eau gommée de l'électricité négative, le cône qui se forme est plus large qu'avec de la positive.

Une ancienne expérience du même genre que celles qui précèdent, due à Nollet, consiste à mettre de l'eau dans un entonnoir en métal muni de quelques ouvertures capillaires et communiquant avec le conducteur électrique. L'eau ne s'écoule que par gouttes isolées et de forme arrondie, tandis que, dès que l'entonnoir est électrisé, elle en sort en petits jets continus très-fins, divergents et lumineux dans l'obscurité.

Le plus souvent, au lieu de s'opérer d'une manière lente et continue, la propagation rapide de l'électricité à travers l'air et les gaz a lieu d'une manière instantanée et brusque par décharges. La distance à laquelle cette décharge peut avoir lieu, ou ce qu'on a nommé la *distance* ou *portée explosive*, dépend,

même intensité de la charge électrique, de la densité
ture du milieu aériforme. Harris a trouvé, par diver-
nces, que les quantités d'électricité nécessaires pour
n intervalle donné varient dans un simple rapport
sité de l'air, et que, par conséquent, la portée explo-
de l'air raréfié est inverse de la densité de l'air, ce
e la même décharge peut traverser un intervalle
longueur double lorsque la densité de cet air a été
moitié. Si l'on réchauffe même jusqu'à 148° l'air
ans un vase clos, on ne fait pas varier la portée
tandis que si on laisse le vase ouvert, on l'aug-
blement, ce qui prouve que ce n'est pas la pression
lectrique, mais le nombre des particules qui dé-
difficulté plus ou moins grande que la décharge
le traverser. Knockenhauer, par une suite d'expé-
s lesquelles, laissant la distance explosive constante,
ait la densité de l'électricité nécessaire pour obtenir
électrique à différents degrés de densité de l'air,
que ces deux densités étaient à peu près propor-
une à l'autre, résultat également obtenu par Mas-
en d'une méthode un peu différente.

tous les physiciens, celui qui a fait l'étude la plus
use de ce sujet est Riess. Nous renvoyons à une note
osition détaillée des méthodes et des calculs par les-
est arrivé à établir les lois qui régissent les dé-
batteries électriques [1]; nous nous bornons ici à
ormule par laquelle il exprime la valeur de la portée

Cette formule est $d = b\frac{q}{s}$, b étant la distance explo-

charge qu'on a prise pour unité, d la distance ex-
r la quantité q d'électricité, et s la grandeur de la
la batterie sur laquelle l'électricité est accumulée,
bre des bouteilles dont se compose cette batterie.
ontrer l'exactitude de la formule par l'expérience,
t d'un appareil qu'il nomme *micromètre à étincelles*,

[1] Note finale C.

et qui consiste (fig. 187) dans deux tiges métalliques verti isolées, terminées chacune par une boule : l'une des tig fixe, l'autre est mue au m d'une vis micrométrique, qui permet de mesurer tement la distance à laqu faut approcher les deux b l'une de l'autre, pour que charge ait lieu entre elles. des boules de l'instrumen munique par un fil m que avec l'armure intér et l'autre avec l'armure rieure, laquelle est égal

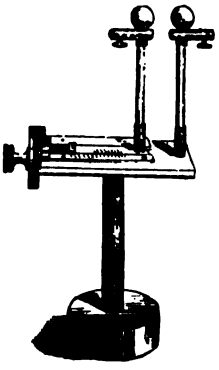


Fig. 187.

mise en communication avec un électromètre. Dans une pr expérience, les boules du micromètre étaient à une di $d = \frac{1}{2}1$; c'est la distance 1 dans le tableau qui suit; la b comparée de s bouteilles fut chargée jusqu'à ce que la dé eût lieu, et l'électromètre indiqua la valeur de la qua d'électricité employée. On trouva ainsi la valeur de l stante b, qui donna $q = 0{,}833.\ sd$. Or, le tableau suivant pour différentes valeurs de d et de s les valeurs corr dantes de q observées directement et calculées d'après formule :

	2 s.		3 s.		4 s.		5 s
d.	q obs.	q calc.	q obs.	q calc.	q obs.	q calc.	q obs.
1	»	»	3.0	2.25	3.5	3.3	4.3
2	3	3.3	5.5	5 0	7.0	6.7	8.5
3	4.6	5.0	7.0	7 5	10.1	10.0	12.5
4	6.4	6.7	10.3	10 0	13.5	13.3	16.0
5	7.5	8.3	»	»	16.0	16.7	»

L'accord du calcul avec l'observation montre bien l' tude de la formule. On voit même qu'on peut, sans le de l'électromètre, une fois la constante b donnée, déte

ement, au moyen de cette formule, la quantité d'élec-
at la batterie est chargée, pourvu qu'on connaisse le
es bouteilles, soit la surface *s* de la batterie, et la dis-
losive *d* fournie par le micromètre à étincelles.
ais faits avec divers gaz avaient montré à Doeberainer
tée explosive est d'autant moindre que le gaz a lui-
s de densité. Schaffautl avait trouvé, dans de l'hydro-
rimé et chauffé jusqu'à 280° en vase clos, cette por-
rande que dans de l'air ordinaire, dont la pression
ndant vingt-sept fois moindre.
rences entre les divers gaz avaient déjà été signa-
organ, à la fin du dernier siècle. Il avait remarqué
qui existe entre la distance explosive et la charge de
, et que, pour une même charge, l'hydrogène fournit
ande distance explosive, et le gaz acide muriatique
. Faraday a repris, il n'y a pas longtemps, l'étude
par Morgan : sa méthode, sans être rigoureuse, con-
résultats approximatifs qui, s'ils n'offrent pas une
nathématique, permettent tout au moins de classer
ts gaz dans l'ordre de leur perméabilité par la dé-
ctrique. Il fait communiquer le conducteur d'une
ectrique à la fois avec un appareil composé de deux
talliques entre lesquelles l'étincelle doit passer en
l'air ordinaire, et à la fois avec un appareil sem-
é dans l'intérieur d'un récipient où l'on peut faire le
oduire différents gaz (fig. 188). Les deux boules de
placé dans le récipient sont à une distance constante
mètres l'une de l'autre, tandis qu'on peut diminuer
ter la distance mutuelle des deux boules placées
de façon que l'étincelle électrique passe par l'une ou
deux voies qui lui sont offertes, ou se partage éga-
re elles. Faraday a déterminé pour chacun des gaz,
duisant successivement dans le récipient, quelle était
ite distance à laquelle les deux boules situées dans
ent être placées l'une par rapport à l'autre, pour que
préférât traverser encore le gaz, et non plus l'air, et
la plus grande qu'on pouvait leur donner sans que

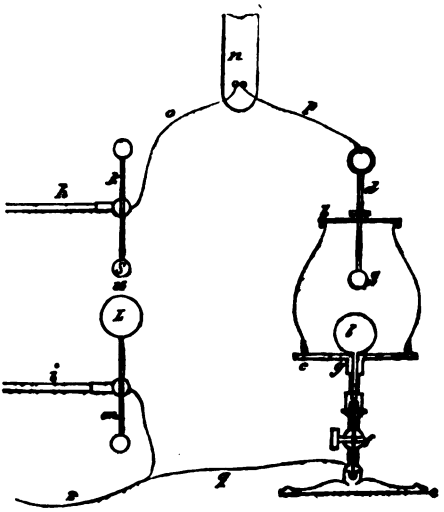


Fig. 188.

l'étincelle cessât de passer à travers l'air de préférence a
Entre ces deux distances, l'étincelle doit se partager ent
et le gaz : en en prenant la moyenne, on obtient pour
gaz la valeur de la distance explosive dans l'air équival
celle du gaz, qui est toujours de 16 millimètres. Comm
autre côté, les quantités d'électricité qui passent da
entre les boules sont proportionnelles aux éloignement
boules, on peut connaître au moyen de ces éloignem
quantité d'électricité qui est nécessaire pour franchir la
distance explosive dans chaque gaz. C'est ainsi qu'on tro
sous la même pression et à la même température, cett
tité est la plus grande pour le gaz acide hydrochlorique
plus petite pour l'hydrogène, de sorte qu'avec la même q
d'électricité, l'étincelle serait la plus longue dans l'hy
et la plus courte dans le gaz acide hydrochlorique, résult
forme à celui qu'avait trouvé Morgan.

Les gaz soumis à l'expérience avaient tous été desséch
soin, étaient à la même température et sous la pressio
sphérique. Voici, du reste, un tableau dans lequel, à
chaque gaz, est indiquée la distance moyenne explos

nales dans l'air, équivalente à la distance explosive con-
les gaz[1] :

Acide hydrochlorique.	1.105
Gaz oléfiant	0.750
Air ordinaire.	0.693[2]
Gaz acide carbonique.	0.640
Azote	0.615
Oxygène	0.505
Gaz de la houille	0.490
Hydrogène	0.370

es expériences de Faraday, les deux boules mises en
ication avec le conducteur de la machine électrique, et
une dans le gaz, l'autre dans l'air, étaient de même
r, mais avaient un diamètre d'environ moitié moindre
de leurs deux boules correspondantes qui communi-
avec le sol. Il résultait de là que, si le conducteur de la
était chargé d'électricité négative au lieu de l'être de
comme dans les expériences ci-dessus, les distances
es dans l'air équivalentes à celles de chacun des gaz
outes un peu moindres, mais l'ordre des gaz n'en était
é, sauf que la différence entre le gaz acide hydrochlo-
le gaz oléfiant devenait à peu près nulle.
xpériences que nous venons de rapporter sont loin,
Faraday le remarque lui-même, d'avoir la précision qui
cessaire pour qu'on pût attacher aux nombres du ta-
dessus une importance très-grande, car bien souvent
nstances imprévues les ont fait varier entre des limites
nsidérables. Ainsi, un peu de poussière, un peu plus
u moins d'humidité dans l'air, modifiaient la direction
gueur de l'étincelle dans des conditions en apparence

tances sont exprimées en pouces et fractions de pouce, et la distance
es deux boules dans le récipient, où l'on introduisait successivement
az, était de 0P, 62.
ultat ne me paraît pas pouvoir être admis, car la distance explosive
dans le récipient doit être égale à celle pour l'air hors du récipient,
de 0P, 62, puisque c'est le même air sous la même pression et sous
mpérature.

les mêmes. Néanmoins il résulte de l'inspection du tableau ce deux faits importants : le premier, c'est que sous la mê pression et à la même température les divers gaz exigent d charges différentes d'électricité pour être traversés par l'é celle dans un trajet de même longueur; le second, que c différences ne tiennent pas uniquement à la densité du g mais aussi à sa nature, puisque le gaz oléfiant, moins dense l'oxygène et surtout que l'acide carbonique, exige une ch plus forte. Il est seulement à regretter que la différence de mètre des boules ait introduit un élément étranger dans l'é même du phénomène, qui se trouve ainsi un peu complexe.

Nous voyons, d'après ce qui précède, qu'il faut distinguer ce qui concerne la propagation de l'électricité dans les ga cas de la propagation lente, soit déperdition, de celui de la p pagation rapide, soit décharge. Dans le premier cas, en c la densité du gaz, soit le nombre de ses particules, est circonstance favorable à la propagation, et la nature du n'a que peu ou point d'influence. Dans le second, la de du gaz est au contraire une circonstance défavorable, e nature du gaz a une influence très-prononcée. Il y a de dans ce dernier cas un mouvement, une agitation de l'air, indique que son déplacement est nécessaire à la propagati et que, par conséquent, loin de la faciliter, sa présence la c trarie. Les choses se passent de même quand la propaga rapide se fait sous forme de courant continu au lieu de s' rer par décharges. C'est ce dont nous nous sommes assu M. Colladon et moi, en faisant passer sous forme de courant, vant le mode imaginé par M. Colladon lui-même [1], de l'électri statique accumulée et renouvelée constamment sur un c ducteur isolé, à travers de l'air ordinaire pris à différents é de densité, de température et d'humidité. Nous faisions us d'un globe de verre de 20 à 25 centimètres de diamètre, m de deux tubulures sur le même diamètre. Nous faisions pa à travers l'une des tubulures une tige métallique isolée t minée dans l'intérieur du globe par une boule en platine

[1] Tome I, page 327.

iquant extérieurement avec le conducteur électrisé; ıbulure était traversée par une tige semblable, mais intérieurement par une pointe en platine maintenue centimètres de distance de la boule, et aboutissant ment à l'un des bouts du fil bien isolé d'un galvano- nt l'autre bout communiquait avec le sol. En opérant , nous nous étions assurés que dans de l'air raréfié ou 2 millimètres, l'aiguille du galvanomètre éprou- déviation aussi forte quand la pointe et la boule de aient à 5 centimètres de distance que lorsqu'elles contact l'une avec l'autre; la déviation était de 55° leux cas, tandis qu'elle n'était que de 35° dans de la pression de 72 centimètres. Dans une autre expé- ır ayant été raréfié et chauffé jusqu'à 50°, la déviation °, tandis qu'elle n'était que de 24° avec de l'air sous n de 73 centimètres à la même température. La le la boule et de la pointe étaient dans ce cas de ·tres. Si l'intérieur du globe était saturé de vapeur l'air y étant très-raréfié, la transmission de l'électri- sait moins facilement que dans de l'air très-raréfié, En effet, le ballon étant chauffé comme précédem- r, on avait 55° de déviation, la pointe et la boule centimètres de distance, et 60° quand elles étaient en ındis que dans l'air très-raréfié, chauffé, mais sec, la était exactement la même, que la boule et la pointe contact ou qu'elles ne le fussent pas.

ecquerel a obtenu des résultats bien plus complets et ıles en transmettant le courant d'un ou plusieurs travers différents gaz. Son appareil consistait dans e platine tiré à la filière et sans soudure, de 65 cen- e longueur et de 1 de diamètre intérieur, assez épais ı pût faire le vide dans l'intérieur sans le déformer, nd une partie de sa longueur était portée à la tempé- ıge blanc. Le tube traversait un fourneau et était façon à pouvoir être porté au rouge sur une lon- 19 centimètres. Il était terminé, à ses deux extrémi- s bouchons portant des tubes de verre, qui permet-

taient d'introduire dans le tube de platine divers g
raréfier au moyen de la pompe pneumatique. Un fi
qui traversait l'un des tubes servait d'électrode,
même faisant l'office de l'autre électrode. Dans q
M. E. Becquerel employait comme électrodes des fil
isolés et passant, sans le toucher, au milieu d'un t
celaine chauffé au rouge. Toutes les précautions é
pour que les supports et les différents ajustages ne
exposés à des variations de température qui auraie
fier leur pouvoir isolant, en sorte que le gaz seul
trodes fussent soumis à ces variations dans ce
expériences. Celles-ci étaient conduites en faisant p
rant produit par un ou plusieurs couples de Gro
d'un galvanomètre sensible et à travers le gaz p
tube. Le circuit renfermait aussi un rhéostat, for
lonne liquide d'un très-petit diamètre, qu'on po
ger ou raccourcir en enfonçant plus ou moins un
servant d'électrode dans un tube divisé qui renfe
lonne; ce liquide était de l'eau distillée tenant en
des proportions variables de sulfate de cuivre suiv
riences, et l'autre électrode était une lame métalliq
bas de la colonne et en communication avec elle. Qu
lait opérer, on commençait par ôter du circuit le
l'expérience, et on donnait à la colonne liquide
une longueur telle que l'aiguille du galvanomètr
par exemple, de 20°, puis, sans rien changer, on
gaz dans le circuit, et on abaissait l'extrémité du
du rhéostat jusqu'à ce qu'en diminuant la résista
lonne liquide d'autant qu'on avait augmenté cell
en y introduisant le gaz, on eût ramené la dévia
guille à ce qu'elle était, c'est-à-dire à 20°. Évide
tensité du courant demeurant constante, la lon
colonne liquide comprise entre les deux portions d
du fil de platine était équivalente à la résistance
tenu dans le tube, augmentée de la résistance au
deux électrodes qui transmettaient le courant dan

Au moyen de cet appareil, M. E. Becquerel a

ns faits importants. Il s'est d'abord assuré que la propaga-
n du courant à travers le gaz ne pouvait avoir lieu avant
celui-ci eût atteint la température rouge, mais qu'à partir
ce point, la résistance du gaz diminuait progressivement à
sure que la température s'élevait, et que cette diminution
t très-rapide quand le tube était chauffé fortement au rouge
t. Tous les gaz présentent la même propriété, mais toute-
des degrés différents. Quand on se sert, pour transmettre
rant dans le gaz, du tube et du fil, on trouve que la trans-
n est plus facile quand c'est le tube, c'est-à-dire l'élec-
le plus étendu, qui est négatif et le fil qui est positif,
ms le cas inverse[1]. Avec deux fils de platine parallèles et
pour électrodes, il n'y a pas de différence, et la trans-
n a lieu avec une égale facilité, que le courant marche
n sens ou dans l'autre. On trouve, en employant ces
ils placés à 3 millimètres de distance l'un de l'autre,
résistance de l'air chauffé au rouge dépasse 30 *mille fois*
l'eau contenant $\frac{1}{8}$ *dix-millième de sulfate de cuivre en dis-*
n. Cette résistance comprend celle qui est due au passage
ectricité des électrodes dans le gaz, indépendamment de
ui est due au passage à travers le gaz lui-même.
r constater l'influence de la force élastique des gaz sur leur
nce au passage de l'électricité, on n'a qu'à raréfier l'air
gaz contenu dans le tube de platine, en ayant soin de
nir le tube à la température rouge. Voici le résultat
expérience faite avec le courant d'un seul couple trans-
travers de l'air maintenu à la température rouge, mais
graduellement jusqu'à la pression de 2 millimètres de
re : l'aiguille du galvanomètre était ramenée à la dévia-
nstante de 25° au moyen du rhéostat.

Force élastique.	Résistance.
Pression ordinaire.	20.9
137, mill. 0	7.1
40, mill. 5	4.8
2, mill. 0	3.8

Andrews, en étudiant le pouvoir conducteur pour l'électricité des flammes

Même dans le cas de la raréfaction la plus grande, il existe encore une résistance bien appréciable entre les deux électrodes de platine, qui est supérieure à $\frac{1}{10}$ de la résistance que présente l'air chauffé à la même température, à la pression ordinaire.

Un fait assez important à noter, c'est que la température à laquelle un gaz commence à transmettre le courant voltaïque est la même, que ce gaz soit raréfié ou maintenu à la pression ordinaire; il faut une température aussi élevée dans le premier cas que dans le second; mais une fois qu'on a atteint cette température, qui est celle du rouge naissant, les différences deviennent sensibles avec les variations de pression.

On peut classer comme suit les gaz dans l'ordre de la résistance qu'ils présentent au courant à la température rouge blanc sous la pression de l'atmosphère, les électrodes étant en platine et la résistance de l'air étant prise pour unité :

Hydrogène [résistance comprise entre 0.3 et 0.4].
Hydrogène protocarboné.
Oxygène [résistance comprise entre 0.4 et 0.7].
Chlore [résistance ne dépassant pas 0.9].
Protoxyde d'azote et azote [résistance peu différente de celle de l'air].
Acide carbonique [résistance comprise entre 1.2 et 2].
Vapeur d'eau [résistance plus forte que l'air].

La chaleur comme la raréfaction agit sur tous les gaz pour diminuer leur résistance à la transmission de l'électricité, mais cette diminution n'est pas égale pour tous; à mesure qu'on les chauffe et qu'on les raréfie, les rapports qui expriment leur résistance au passage du courant tendent sans cesse à se rapprocher de l'unité. Quand on arrive à la pression de 3 ou 4 millimètres de mercure, toutes les substances gazeuses transmettent également bien le courant, pourvu que leur température soit la

et de l'air chauffé, avait déjà trouvé que l'air chauffé jusqu'au rouge par une lampe d'Argant, ne conduisait le courant d'une pile de 20 couples qu'autant que le pôle positif communiquait avec le fil de platine placé dans l'air chaud, et le négatif avec le tube de laiton de la lampe près de l'orifice d'où sortait la flamme; dans le cas inverse, le courant ne passait pas; c'était au moyen de la décomposition du iodure de potassium que la transmission du courant était accusée.

la chaleur agit dans le même sens que la diminution de ; mais elle a une action propre bien évidente, puisqu'à rature ordinaire, dans le vide le plus parfait qu'on roduire, il n'y a pas de transmission électrique appré- ndis qu'à la température rouge, l'électricité peut tra- gaz, même quand il n'est pas raréfié.

stance que les gaz offrent, dans leurs diverses conditions rature et de raréfaction, à la transmission de l'électri- avec le nombre des couples et avec l'intensité du roduit par le même nombre de couples. L'étude que querel a faite de ces anomalies semblerait démontrer ennent aux résistances variables suivant son intensité rant éprouve à passer des électrodes dans le gaz.

ériences de M. E. Becquerel sont de nature à confirmer ne que nous faisions plus haut sur la différence qui l'action des substances gazeuses, entre le cas de la n lente et celui de la propagation rapide de l'électri- voyons même que l'influence de la densité et de la gaz est presque la même, que la propagation rapide r décharge ou par courant : quant à celle de la tem- elle n'a pas été étudiée dans le cas des décharges ; il robable qu'elle conduirait à des résultats analogues ont été obtenus pour le cas des courants.

paraît donc résulter de tout cet ensemble de recher- e rôle de l'air et des gaz est exclusivement négatif agit de la propagation rapide de l'électricité, tandis ositif quand il est question de la propagation lente ou n. Dans ce dernier cas, les particules du gaz sont po- r l'électricité du corps qui est placé au milieu d'elles, chargent le corps et se déchargent successivement les utres plus ou moins lentement suivant certaines cir- , de la même manière que cela a lieu pour les parti- conducteurs imparfaits solides et liquides. Aussi les du phénomène sont-elles les mêmes, que les corps desquels s'opère la déperdition lente soient gazeux, u solides. Il est possible cependant que dans les corps propagation de l'électricité s'opère par un petit mou-

vement, soit déplacement des particules, comme cela la propagation de la chaleur.

Si la propagation est rapide, la tendance des deux à se réunir est contrariée par la présence des particule que le milieu soit gazeux, solide ou liquide. Cett c'est-à-dire la décharge ou le courant ne peuvent lieu qu'autant que les particules seront écartées; de là des corps solides, le mouvement et l'agitation des dans les liquides et les gaz; de là aussi les différenc diverses substances quant à leur facilité à laisser pa charge; les gaz dont les particules sont plus mobile ront mieux passer, et parmi eux il y aura encore des tenant à leur différence de mobilité, laquelle n'est po port avec leur pesanteur spécifique. L'influence de la ne devient pas moins facile à comprendre une fois q cule du gaz n'est plus un conducteur plus ou moins mais un obstacle à la transmission de l'électricité. E de la température s'explique également si on se bor sidérer dans les électrodes solides chargés des électi traires, et non dans les gaz où il peut être considéré c puisqu'il est le même, que le gaz soit à sa densité or qu'il soit raréfié au point de ne plus contenir que mercure.

Un fait important à signaler encore avant de quit de la propagation de l'électricité dans les gaz, c'e rence qui existe entre l'électricité positive et la nég à leur facilité respective à déterminer la décharg mêmes circonstances. Nous avons fait remarquer rence en ce qui concerne la propagation lente, en les expériences de Matteucci; Belli avait déjà, avant observé que l'électricité négative à tension égale se promptement que la positive, l'état de l'atmosp disposition de l'appareil étant exactement les mê rait au moyen d'un électromètre à cadran, dont mettaient 10′ 2″ à descendre de 200 à 10° quand e chargées d'électricité positive, et seulement 4′ 30″ étaient chargées d'électricité négative. Quant à la tu

le ou décharge, on sait depuis longtemps la différence que présente la lumière qui l'accompagne sous forme petite, suivant que la surface électrisée d'où elle part est ive ou négative. Mais, indépendamment de cette apparence, nous étudierons en nous occupant de la lumière électri- il y a un fait plus général établi par Faraday en ce qui me la décharge elle-même.

marquons d'abord que lorsque la décharge a lieu à travers ntre deux boules de grandeur inégale, l'étincelle est up plus longue quand c'est la boule la plus petite qui itive et la plus grande négative, que dans le cas inverse; dans le premier cas, elle peut avoir de 20 à 30 centimètres gueur, et dans le second, 2 ou 3. Il y a aussi une diffé- mportante dans la longueur de l'étincelle, suivant que les reçoivent directement l'électricité de la source, c'est- sont *inductrices*, ou qu'elles la reçoivent par induction, dire qu'elles sont *induites*. Ainsi l'étincelle est deux fois ngue quand la petite boule est rendue positive directe- que lorsqu'elle l'est par induction; une différence ana- mais moins considérable cependant, peut être observée la boule est négative au lieu d'être positive.

bien déterminer les degrés différents de tension ou de électrique qu'acquièrent les petites boules avant que la ge ait lieu, suivant qu'elles sont positives ou négatives, faire usage de l'appareil suivant (fig. 189), composé de

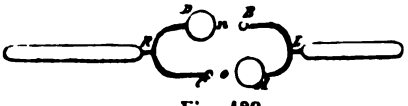


Fig. 189.

ourches métalliques L et R terminées chacune par des de diamètres différents; les boules A et D ont 5 centi- de diamètre et les boules B et C 5 millimètres; la dis- ntre chacune des grandes boules et la petite, dans la ourche, est de 12 centimètres environ; les deux fourches mobiles, on peut faire varier les intervalles *n* et *o*; on met elles en communication avec la source d'électricité, et

l'autre avec le sol. Les intervalles *n* et *o* étant de 24 mi
chacun et les boules *A* et *B* étant positives et induct
décharge a lieu en *n*, le plus souvent avec une aigr
mêmes boules étant toujours inductrices, mais négr
décharge a encore lieu en *n*, mais toujours avec aigr
l'avantage est en faveur de la petite boule inductric
soit positive ou négative; mais si l'on fait l'intervalle
millimètres et l'intervalle *o* de 16, la décharge a li
ment entre les deux intervalles, quand A et B sont in
et positives; quand elles sont négatives, la décharge
plus forte proportion en *n*, ce qui semble prouver que
boule se décharge plus facilement quand elle est négr
lorsqu'elle est positive. Cette expérience et d'autres
genre conduisirent Faraday à admettre que de deux
également conductrices, placées dans l'air et élect
même degré, celle qui est négative se décharge à un
un peu plus basse que celle qui est positive; et q
que la décharge a lieu, elle passe dans une plus fort
tion de la surface positive à la négative, que de la nég
positive.

Ces différents effets tiennent très-probablement à la
corps diélectrique interposé, qui est ici l'air ordinaire, e
nière dont ses particules se polarisent; ce qui le prou
qu'ils varient avec les gaz placés sur la route de la
Faraday, pour étudier l'influence des divers gaz, ava
l'appareil de la figure 189 de manière que les deux fo
fussent dans un récipient où l'on introduisait le gaz
chaque paire de boules pût communiquer extérieur
récipient, comme dans la figure 188, soit avec une so
lectricité, soit avec le sol. En opérant comme avec l'
à-dire en rendant A et B tantôt inducteurs positifs
inducteurs négatifs, on trouve que la petite boule *n*
une supériorité décidée sur la boule *positive* pour dé
la décharge dans les gaz oléfiant et acide carbonique, t
dans l'azote et l'hydrogène, c'est l'inverse.

Les phénomènes qui viennent de nous occuper s
intimement liés avec la manière dont a lieu la pro

lectricité dans les fluides élastiques, et par conséquent s effets qui accompagnent cette propagation ; aussi au- nous l'occasion d'y revenir dans les chapitres suivants, rés à l'étude de ces effets. Ils se rattachent à la même à laquelle sont dues les différences observées par Becquerel dans la facilité de la transmission du courant que à travers les gaz, suivant que c'est par le tube ou le latine qu'arrive l'électricité positive. Enfin, quand nous ons les phénomènes de décomposition qui accompagnent ge de l'électricité dynamique à travers les liquides, rrons des effets de mouvement et de transport des eux-mêmes du pôle positif au négatif, qui indiquent une disparité dans le mode d'action des deux élec-

sidérations générales sur le mode de transmission de ricité dans les corps et dans le vide, et sur quelques nènes moléculaires qui en sont la conséquence.

e que nous venons de faire de la propagation de l'élec- ravers les corps solides, liquides et gazeux, et à travers conducteurs et les conducteurs imparfaits, nous amène ment à distinguer deux modes de transmission. Le e fait par l'intermédiaire des corps, de molécules à mo- t plus ou moins rapidement suivant le degré de con- é de ces corps et de ces molécules; c'est celui que ellerons avec Faraday *conduction*, et qui est toujours gné de l'induction moléculaire. Tous les corps peuvent considérés comme conducteurs, ceux que nous appe- nts étant seulement conducteurs à un degré si faible, permettent pas une propagation assez rapide de l'élec- ur qu'il y ait courant : il y a seulement déperdition mode de transmission par conduction peut être accom- ffets calorifiques et d'effets chimiques; dans ce dernier stitue le mode par *électrolyse*, qui n'en est qu'un cas r, que Faraday regarde cependant comme un mode

que l'altération moléculaire qu'éprouvent les conducte
lides qui ont longtemps servi à la transmission du cour
qu'a signalée M. Peltier, et les décompositions chimiqu
accompagnent cette transmission dans les liquides, sembl
plutôt favorables à l'idée d'un mouvement atomique et
culaire.

Ainsi donc, en résumé, il n'y aurait qu'un mode de pr
tion de l'électricité dynamique, celui par décharges, s'
ou de molécules à molécules et à des distances infinim
tites, ou de corps à corps à des distances finies, se suc
tantôt d'une manière assez rapide pour constituer le c
tantôt trop lentement pour affecter cette forme. La seul
tion qui resterait à résoudre serait de savoir si ces décha
lieu toujours par l'intermédiaire de parties matériell
elles peuvent avoir lieu également par l'intermédiaire d
et sans la présence de substances pondérables. C'est cet
tion que nous serons appelés à examiner dans les chapit
vants de cette quatrième partie, où nous nous occupe
effets de la propagation de l'électricité, après nous être
dans celui-ci à faire une étude générale et aussi compl
possible de cette propagation elle-même.

Nous avons maintenant à donner des preuves direct
non-conductibilité du vide, que nous avons admise pl
Ces preuves sont très-difficiles à obtenir, parce qu'il est
sible de priver complétement un espace de toute matiè
dérable; il reste toujours dans le vide de la pompe pneum
et même dans le vide barométrique, une certaine qua
vapeurs. Cependant en remplissant de mercure, qu'on a
bouillir, un tube fermé à un bout et qui plonge par s
ouverte dans une cuvette pleine aussi de mercure, on
tenir au haut du tube un espace bien vide en raréfiant
dessus du mercure de la cuvette, ce qui fait baisser la
renfermée dans le tube. En entourant la partie vide du tu
armure métallique et en l'électrisant comme une bou
Leyde, Morgan avait d'abord vu de la lumière électric
l'intérieur, ce qui semblait prouver que le vide était con
et se conduisait comme une armure intérieure. Mais en

, comme M. Becquerel l'a remarqué, avoir assez d'inten-
r être transmise de cette manière; mais cette objection
tant péremptoire, car nous verrons bien d'autres exem-
l'électricité d'un couple unique peut, lorsque les circon-
tant favorables, produire des effets qui exigent ordinai-
une pile de plusieurs couples. Or, dans les expériences
Becquerel, la haute température à laquelle les électrodes
rés et leur grand rapprochement doivent faciliter sin-
ment la production de l'effet que nous venons d'indiquer.
, nous ne pourrons traiter convenablement la question
ste que nous venons de soulever que dans le chapitre
nous occuperons des effets calorifiques et lumineux de
ité; c'est là que nous pourrons examiner si l'on doit
que les deux électricités puissent se réunir à distance
ermédiaire de particules matérielles, ou si cette réunion
ujours nécessairement la présence, soit de la matière
, ce qui constitue la conduction, soit des particules
ées entre les deux corps chargés d'électricités con-
e qui réduirait à deux seulement les différents modes
rge. Et même il ne serait pas impossible que ces deux
e différassent pas essentiellement l'un de l'autre. En
est-ce que la conduction, sinon une suite de décharges
ssent de molécules à molécules, à des distances infini-
ites, au lieu de s'effectuer entre des corps de certaine
n, à des distances de grandeur finie? De plus, dans la
on, les décharges ont lieu à travers le vide moléculaire,
nséquent, soit à cause de cette circonstance, soit à cause
es distances qui séparent les molécules, il n'est pas né-
que l'électricité possède une grande intensité pour être
e. On peut se demander seulement aussi si les décharges
ires ont lieu uniquement par l'intermédiaire de l'éther
, ou s'il y a un transport très-minime de matière d'une
à une autre. Cette question, qui est exactement la
e celle que nous avons soulevée pour les décharges qui
à des distances finies, ne peut être convenablement
n'en étudiant les effets que produit chez les corps le
de l'électricité. Toutefois nous pouvons déjà remarquer

que l'altération moléculaire qu'éprouvent les conducteurs solides qui ont longtemps servi à la transmission du courant, et qu'a signalée M. Peltier, et les décompositions chimiques qui accompagnent cette transmission dans les liquides, sembleraient plutôt favorables à l'idée d'un mouvement atomique et moléculaire.

Ainsi donc, en résumé, il n'y aurait qu'un mode de propagation de l'électricité dynamique, celui par décharges, s'opérant ou de molécules à molécules et à des distances infiniment petites, ou de corps à corps à des distances finies, se succédant, tantôt d'une manière assez rapide pour constituer le courant, tantôt trop lentement pour affecter cette forme. La seule question qui resterait à résoudre serait de savoir si ces décharges ont lieu toujours par l'intermédiaire de parties matérielles, ou si elles peuvent avoir lieu également par l'intermédiaire de l'éther et sans la présence de substances pondérables. C'est cette question que nous serons appelés à examiner dans les chapitres suivants de cette quatrième partie, où nous nous occuperons des effets de la propagation de l'électricité, après nous être bornés dans celui-ci à faire une étude générale et aussi complète que possible de cette propagation elle-même.

Nous avons maintenant à donner des preuves directes de la non-conductibilité du vide, que nous avons admise plus haut. Ces preuves sont très-difficiles à obtenir, parce qu'il est impossible de priver complétement un espace de toute matière pondérable; il reste toujours dans le vide de la pompe pneumatique, et même dans le vide barométrique, une certaine quantité de vapeurs. Cependant en remplissant de mercure, qu'on a bien fait bouillir, un tube fermé à un bout et qui plonge par sa partie ouverte dans une cuvette pleine aussi de mercure, on peut obtenir au haut du tube un espace bien vide en raréfiant l'air au-dessus du mercure de la cuvette, ce qui fait baisser la colonne renfermée dans le tube. En entourant la partie vide du tube d'une armure métallique et en l'électrisant comme une bouteille de Leyde, Morgan avait d'abord vu de la lumière électrique dans l'intérieur, ce qui semblait prouver que le vide était conducteur et se conduisait comme une armure intérieure. Mais en prenant

:aution de bien dessécher le mercure et le tube, il n'ob-
ıs aucun effet, et il put s'assurer en électrisant l'enveloppe
:ure qu'aucune trace d'électricité n'était développée dans
ieur. Erman, après avoir inséré un fil de platine dans le
l'un tube barométrique et y avoir fait un vide aussi par-
.e possible en faisant bien bouillir le mercure, s'assura, au
ı d'un électroscope mis en communication avec le mer-
ıolé de la cuvette barométrique, que de l'électricité qu'il
parvenir au fil de platine n'arrivait point à l'électroscope,
traversait par conséquent pas l'espace vide long de 16 cen-
es, compris entre ce fil et le haut de la colonne de mer-
Davy avait constaté, de son côté, au moyen d'un petit élec-
pe attaché à un fil de platine qui lui-même était fixé,
e dans l'expérience précédente, au haut d'un tube vide
eposant par sa base sur du mercure, que les balles de cet
ıscope divergeaient quand on électrisait extérieurement
t du fil de platine auquel elles communiquaient. Cepen-
ette divergence n'aurait pas eu lieu si l'électricité avait pu
ıager à travers l'espace vide. Nous avons déjà vu[1] qu'Harris
querel ont également maintenu pendant plusieurs jours
:rgence des feuilles d'or d'un électroscope, en le plaçant
ın récipient où l'air avait été raréfié, autant que cela était
le, au moyen de la pompe pneumatique. Riess a fait la
observation; il a même remarqué que la divergence d'un
ıscope, qui était descendue de 13 millimètres à 9 au bout
minutes dans l'air d'un récipient, demeura la même,
-dire de 13 millimètres, pendant 68 minutes, quand l'air
é raréfié jusqu'à ne plus soutenir que 10 millimètres de
ıre. Seulement il faut, pour que cette divergence se main-
', que le corps électrisé placé dans le vide soit à une dis-
suffisamment grande de tout corps conducteur communi-
avec le sol ; autrement l'électricité se dissipe et on aperçoit
ueur bleuâtre entre le corps électrisé et le conducteur
ı.

ıs pouvons donc admettre qu'un corps électrisé entouré

[1] ome I, page 127.

de tout côté d'un vide parfait, conserverait toujours son
tricité, pourvu qu'il fût à une distance de tout autre corps
fisante pour qu'il ne pût se décharger sur lui, distance
sairement dépendante de l'intensité de son électricité. Il
de là que l'électricité reste à la surface des corps conduc
tant qu'elle n'est pas enlevée par le contact de particules
ou moins conductrices ou par l'attraction qu'exerce sur
l'électricité contraire d'un corps rapproché. Nous trouve
une confirmation des objections que nous avions pré
contre le rôle qu'on a longtemps attribué à la pression
phérique, en la regardant comme la cause qui maintient
tricité à la surface des corps conducteurs.

Avant de terminer ce paragraphe, nous avons encore à
de quelques phénomènes qui se rattachent à cette acti
vertu de laquelle l'électricité, en se propageant et probabl
pour se propager, déplace, désagrége et transporte souv
particules des corps ; en un mot, altère leur état moléc
Ces phénomènes sont nombreux et variés, et quoiqu'ils
pagnent presque toujours les autres effets de la transm
de l'électricité à travers les corps, ils doivent être étudiés
manière distincte, parce qu'ils en sont jusqu'à un certain
indépendants, qu'ils en sont même quelquefois isolés, et
sont liés d'une manière plus intime au mode même de
gation de cet agent.

M. Fusinieri a constaté d'une manière évidente, p
grand nombre d'expériences, le transport des molécules
liques qui a lieu d'un conducteur à l'autre quand
passer entre ces deux conducteurs la décharge d'une bo
de Leyde, ou même la simple étincelle d'une machine
trique. Ainsi des particules d'argent sont transportées
cuivre et peuvent même le pénétrer, et réciproquem
cuivre est transporté sur de l'argent. Parmi les expé
qui prouvent que des particules métalliques désagrégé
vent, sous l'influence de la décharge électrique, pénét
autre métal sans être arrêtées par lui, nous citerons l
vante. Un disque d'argent, bien décapé, de l'épaisseur
feuille de carton et de 9 centimètres de diamètre enviro

contact, par son centre, avec une boule d'or d'un cen-
et demi de diamètre, qui elle-même communique avec
armures d'une batterie composée de deux grandes
de Leyde; l'autre armure communique avec une
d'argent qu'on rapproche assez du disque pour que l'é-
passe entre eux. Quand on a ainsi fait passer plusieurs
es, on remarque sur la surface du disque d'argent
sortie l'étincelle une belle tache d'or, soit une lame
ce de ce métal, dont la formation exige que l'or ait
l'argent sans se mélanger avec lui. Sur l'autre surface
, et précisément à son point de contact avec l'or, on
une petite cavité circulaire qui semble présenter
traces de fusion. On observe également que de l'ar-
té transporté sur l'or, mais il ne s'étend pas aussi bien
, qui est de tous les métaux celui qui forme la tache la
nde et par conséquent la plus mince, probablement à
sa grande ductilité.

es effets de ce genre les plus remarquables sont ceux
par Karsten et par plusieurs autres physiciens, et dé-
ous le nom de figures et images électriques. Il ne faut
confondre avec les figures ou dessins qu'on peut former
nant certains points des plaques isolantes et en les sau-
t ensuite avec certaines poudres ou poussières qui
isent les figures qu'on avait tracées avec l'électricité.
ont les figures de Lichtemberg, dans lesquelles la poudre
me est électrisée, ce qui fait mieux ressortir les images
et de distinguer celles qui sont tracées avec l'élec-
ositive et celles qui le sont avec la négative. Telles sont
figures qu'on obtient en recouvrant un plateau d'une
isolante non électrisée, et en promenant normalement
plateau la pointe d'une tige métallique tenue en com-
tion avec le bouton d'une bouteille de Leyde chargée.
manière une partie de l'électricité passe au plateau,
tre à la poudre, de sorte que les traits dessinés par la
et la poudre sont semblablement électrisés, et que la
est ainsi tracée par des lignes d'où la poudre est chas-
st par ce moyen que Wiedemann, comme nous l'avons

vu[1], avait constaté la différence de conductibilité que pr
tent certains cristaux, suivant que l'électricité s'y propage
une direction ou dans une autre. Ces figures fournissent
des différences assez caractéristiques entre l'électricité po
et la négative, et nous y reviendrons quand nous étudiero
différences en nous occupant de la lumière électrique.
pour le moment d'images électriques d'une autre espèc
nous avons à nous occuper, c'est-à-dire de celles qui sont
non pas à une simple attraction exercée sur des subst
pulvérulentes par l'électricité restée adhérente, suivant
taines directions, à des plaques isolantes, mais à une m
cation moléculaire permanente produite dans les corps co
teurs aussi bien que dans les non-conducteurs, par l'eff
passage de l'électricité.

Moser avait découvert, en 1842, le fait remarquable q
deux corps sont en contact ou très-rapprochés, ils impri
leur image l'un sur l'autre. Ainsi il suffit de placer un
daille ou une pièce de monnaie sur une plaque métallique
polie et de l'y laisser quelque temps (20 minutes env
pour que cette plaque garde l'empreinte de la médaille
la pièce de monnaie. L'effet dans ce cas est peu marqué,
il devient beaucoup plus sensible si on expose la plaqu
vapeur de mercure ou à la vapeur d'eau telle que celle
produit l'haleine, ces vapeurs se condensant de manière à
siner nettement les contours de l'image. Si la plaque est
gent et qu'elle soit iodurée, on obtient alors une image
plus nette. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que ces expéri
réussissent aussi bien dans une obscurité complète et pe
la nuit que sous l'influence de la lumière. Aussi Moser av
attribué cette classe de phénomènes à une action partic
des rayons obscurs les plus réfrangibles, partant du pri
que tous les corps rayonnent de la lumière, même dan
obscurité complète; et il avait considéré cette action co
consistant à modifier les substances de telle sorte qu'
l'avoir éprouvée, elles condensent les diverses vapeurs

[1] Tome II, page 74.

ment qu'elles ne le feraient sans cela, la découverte de Daguerre n'étant plus qu'un cas particulier de cette action générale.

Karsten réussit, peu de temps après la découverte de Moser, à produire des figures semblables, dans des circonstances analogues, en se servant de l'électricité. Il plaçait une pièce de monnaie sur une lame de verre, qui reposait elle-même sur une plaque de métal, puis il faisait arriver sur la monnaie des étincelles électriques qui se déchargeaient sur la plaque de métal, en faisant le tour de la lame de verre. Au bout de cent tours de la machine électrique, la pièce de monnaie était enlevée, et en soufflant l'haleine sur la plaque de verre qui semblait n'avoir éprouvé aucune altération, on voyait reparaître l'empreinte entière de la pièce avec ses plus petits détails. En employant des lames de verre minces, on peut en superposer un grand nombre les unes sur les autres, et on obtient alors sur chacune des figures de la médaille, faibles, il est vrai, et qui deviennent de moins en moins distinctes, mais qui pourtant sont toujours reconnaissables. En général, la figure est d'autant plus nette que l'espèce de bouteille de Leyde, formée par la réunion de la médaille et de la lame de métal, se décharge plus fréquemment d'une manière spontanée et continue, de manière à produire comme une auréole rayonnante autour de la pièce de monnaie.

L'effet que nous venons de décrire n'est nullement dû à des traces d'électricité restées adhérentes à la plaque de verre après qu'on a fait passer l'étincelle. C'est ce qu'il est facile de prouver en frottant la plaque avec un morceau d'étoffe ou en la laissant exposée quelque temps à l'air, ce qui fait disparaître toute électricité; et cependant la figure persiste avec la même netteté; on a même de la peine à la faire disparaître en chauffant ou en soufflant dessus. Mais la preuve la plus forte, c'est qu'on peut produire la même figure sur des lames de métal polies, cas dans lequel il est impossible d'admettre qu'il y ait de l'électricité adhérente. Pour bien réussir, il faut empêcher l'électricité de passer trop vite de la pièce de monnaie à la plaque métallique qui doit en recevoir l'empreinte, et pour cela il faut, au lieu de les mettre immédiatement en contact, les séparer par une mince lame de verre, ou mieux encore par une

légère feuille de mica. On obtient ainsi déjà au bout de 1
20 tours du plateau de la machine, c'est-à-dire en 10 ou
secondes, une figure d'une netteté extraordinaire. Plu
corps est mince, et par conséquent plus les deux électri
contraires sont dissimulées, plus sont grandes la netteté
rapidité avec lesquelles la figure se forme. On peut varie
nature de la plaque destinée à recevoir les images et les ob
eux-mêmes dont on veut obtenir les figures. Karsten a empl
également des monnaies et des médailles de divers méta
des cachets, des pierres gravées etc.; cependant les résultat
plus sûrs sont ceux qu'on obtient avec diverses pièces
monnaie, à cause de l'uniformité de l'empreinte. Quant
plaques, les plus conductrices sont les meilleures; et m
en employant une lame d'argent semblable à celle dont
sert pour le daguerréotype, on obtient sur cette lame, apr
grand nombre de tours de la machine, une empreinte
médaille et de la feuille de mica bien visibles, sans qu'on
obligé de les faire paraître au moyen des vapeurs. Après
tours de la machine, la figure entière était reproduite s
lame comme elle l'aurait été à l'eau forte, et elle prés
une couleur brunâtre.

Les phénomènes observés par Karsten ont une grande re
blance avec ceux découverts par Moser, lors même qu'ils
produits d'une manière bien différente. Les modifications é
vées par les surfaces qui reçoivent l'empreinte des médail
autres objets paraissent être dans les deux cas de même na
mais quelle est cette nature, telle est la question qui se pré

Riess avait déjà remarqué, avant les expériences de Kar
qu'on peut produire des figures sur des lames de verre
mica au moyen de décharges électriques ou de simples
celles, c'est-à-dire déterminer sur la surface de ces lame
traces, des dessins ramifiés qui deviennent visibles si l'on
jette l'haleine, et qu'il avait nommés par cette raison fi
roriques. En examinant de près des morceaux de mic
s'était assuré qu'une lame de cette substance exposée au s
de l'haleine ou tenue sur l'eau en évaporation, se recouvre
dépôt de gouttelettes qui ne forment point une couche conti

tandis que cette couche est continue et parfaitement transparente au lieu d'être trouble, si la surface du mica est fraîche et n'a pas été déjà exposée à l'air [1]. On pourrait croire que la surface renouvelée n'est pas recouverte d'eau; bien au contraire, c'est parce qu'elle a une grande affinité pour l'eau qu'elle la condense en une couche continue, ce que prouvent et la grande conductibilité électrique qu'elle acquiert, et l'inspection qu'on peut en faire au moyen du microscope, qui fait voir en même temps ces gouttelettes isolées sur la partie où la surface n'est pas fraîche. D'ailleurs, en l'exposant à l'action de substances desséchantes ou à celle du vide, la surface devient isolante par l'effet de la disparition de la mince couche d'eau. La différence entre la surface ancienne et la surface fraîche du mica tient à ce qu'il s'est formé sur la première une couche étrangère par l'effet de dépôts de substances diverses, principalement organiques, qui se trouvent suspendues dans l'atmosphère, couche qui n'a pas eu le temps de se former sur la surface renouvelée. C'est la présence de cette couche légèrement graisseuse qui oblige l'eau à se déposer sous forme de gouttelettes, au lieu de former un dépôt continu.

L'action de la décharge des étincelles consisterait donc à éloigner la couche étrangère partout où l'électricité a passé, et la différence dans la manière dont l'haleine se dépose là où cette couche existe et là où elle a disparu, rendrait ainsi visibles les traces de l'électricité. Cependant la surface du mica, comme celle du verre, peut bien elle-même être modifiée assez profondément par l'effet des décharges, comme nous l'avons déjà vu, ce qui explique la persistance des figures qui durent quelquefois plusieurs années.

Revenant aux figures électriques de Karsten, il faut remarquer qu'on a deux séries de décharges, celles qui ont lieu dans un sens quand on charge le modèle qui est placé sur la lame isolante, et celles qui ont lieu quand l'électricité du modèle et celle de la plaque inférieure se neutralisent. Or ces deux effets

[1] Il est facile de rafraîchir la surface d'une lame de mica en en détachant une écaille mince avec la lame d'un canif.

se succédant très-rapidement, il en résulte un enlèvement
la couche étrangère dans les parties de la lame isolante cor
pondantes aux points les plus rapprochés et par conséquent
plus saillants du modèle. On peut même rendre sensible
effet en remplaçant cette lame métallique inférieure par
surface de résine bien unie, et on y découvre l'image du mo
au moyen d'une poudre fine qui se dépose là où l'électricité
laissé ses traces. L'image produite sur la lame de métal
également à l'enlèvement d'une couche étrangère analogue
celle dont le mica est recouvert, enlèvement qui s'opère par
où les décharges ont passé. C'est ce que prouve l'influence
poli qui consiste moins à purifier le métal qu'à revêtir sa
face d'une substance étrangère parfaitement uniforme. C'est
que prouve également l'expérience de M. Fizeau dans laq
une lame de platine, après avoir été très-bien polie avec
coton imprégné d'un mélange de potée d'étain et d'alcool,
nait d'excellentes images, et n'en donna plus après avoir
purifiée par l'incandescence et son immersion successive
l'eau acidulée et dans l'eau pure au point de pouvoir enflam
le gaz hydrogène. D'ailleurs Karsten, regardant au microsc
les images qui sont produites par l'haleine sur une sur
métallique, a reconnu très-bien qu'elles proviennent du
d'une couche d'eau mince et continue qui a lieu dans
points où les dépôts étrangers ont été enlevés. Il a égalem
constaté que l'image qu'on a déterminée sur une lame de la
s'y reproduit par un dépôt de cuivre, quand on plonge la
dans une solution de sulfate de cuivre comme électrode nég
preuve que les traits de l'image correspondaient sur la sur
de laiton aux points où la couche étrangère avait été enlevé

C'est par la même raison que les lames de mica sur lesque
la reproduction des images se fait le mieux, sont celles dont
surface est très-ancienne et qui n'ont pas été rafraîchies de
longtemps, ni par l'électricité, ni par l'action mécanique.

Toutefois, il nous paraît impossible d'expliquer dans tous
cas la formation des figures électriques, uniquement par le
attribué à cette couche organique qui existe à la surface
corps, en particulier quand ces figures sont visibles immédi

bien sur les lames isolantes que sur les plaques mé-
ns le secours de la vapeur. On est obligé d'admettre
sur les surfaces une véritable modification molé-
, preuve, c'est que les images ne sont pas seulement
; et passagères, mais qu'elles pénètrent quelquefois
dément et sont très-durables. Or, il est assez pro-
ns les expériences de Karsten, la polarisation molé-
prouve la substance isolante placée entre les deux
alliques, doit être accompagnée d'un changement
ion des particules là où l'action électrique est le
est-à-dire dans les points correspondants aux parties
antes de l'objet en relief. De même quand les dé-
ent, les particules de la plaque métallique infé-
nt, dans les points où elles sont le plus rapprochées
bir également un changement moléculaire, dont
e altération superficielle très-légère, il est vrai,
nt sensible. Il se pourrait aussi que dans quelques
ge prolongé de décharges électriques successives
gné de quelques effets électro-chimiques, et en
une oxydation dans les parties des surfaces métal-
ns rapprochées des points saillants de la médaille.
figures de Moser, elles me semblent avoir la même
celles de Karsten, ainsi que nous l'avons dit plus
rence et les propriétés de ces deux sortes d'images
nt semblables qu'il serait difficile de les attribuer
; différentes. Les images de Moser ne peuvent se
ne plaque de métal à travers une lame de mica;
la plaque et l'objet soient, sinon en contact, du
très-petite distance, circonstances toutes défavo-
ypothèse que les figures sont produites par un
t invisible. Ce qui prouve que l'électricité semble
e dans leur production, c'est que, suivant l'obser-
rsten, si on pose une pièce d'argent sur une plaque
n ayant soin de les faire communiquer au moyen
de cuivre placée tout autour à l'extérieur, on ob-
age excellente, tandis que l'image est très-mau-
on n'a pas soin de mettre la bande de cuivre. Dans

le premier cas, on a un véritable couple, dans lequel l'a
ou moins humide, interposé entre la plaque de laiton et l
d'argent, joue le rôle de conducteur humide, d'où résu
la surface de laiton doit être oxydée dans tous les points
n'a pas été en contact avec la pièce. Dans le second cas,
tralisation des électricités ayant lieu par les points de
de la plaque et de la pièce, l'effet doit être plus con
lorsqu'elle s'opère régulièrement par l'intermédiaire de
de cuivre qui unit les deux lames métalliques.

La nécessité d'une couche d'air interposée pour la
tion des images de Moser a été prouvée par Knorr, qui a
tré que dans de l'eau très-pure et privée d'air, comme
vide, les images ne se formaient pas ou que très-diffici
Ce fait est favorable à l'explication que nous venons de
mais il n'en est pas moins difficile d'expliquer la forma
images de Moser quand les deux lames métalliques ne se t
pas. Toutefois, il n'est pas impossible qu'à la distance r
rement très-petite où ces lames sont placées l'une par
à l'autre, l'électricité, développée sur l'une d'elles par
de l'air humide, étant condensée par l'influence de l'aut
ne soit capable de produire les effets suffisants pour dé
la formation des images. Nous verrons dans la partie c
aux sources de l'électricité des exemples de dégagemen
tricité dans des conditions semblables.

Nous ne nous arrêterons pas aux autres explicatio
a cherché à donner des images de Moser, celles en
lier de Hunt et de Knorr qui les attribuent à une cau
rifique, et, suivant Knorr, à une transmission récipr
chaleur entre la plaque et l'objet. Ce dernier physicien
en effet, en chauffant les plaques, des images qu'il appe
nographies et qui sont évidemment dues à une ox
puisqu'on ne peut les produire avec des plaques de p
d'or. L'action de la chaleur consiste surtout à manif
différences préexistantes dans l'état moléculaire d'un
métallique, probablement parce que ces différences en
nent de correspondantes dans l'oxydation qu'éprou
surface par l'élévation de la température. Ainsi la cha

reparaître l'image effacée d'une plaque de daguerréotype et l'empreinte disparue d'une pièce de monnaie dont la surface bien polie ne laisse plus voir aucun signe ni aucune figure. Dans tous ces cas, la chaleur ne détermine pas la formation de l'image, mais simplement en rend la manifestation sensible.

Sans entrer dans plus de détails sur ce sujet intéressant qui a été l'objet des recherches d'un grand nombre de savants [1], nous nous résumons en émettant l'opinion que la formation de l'image est dans tous les cas un effet électrique dû à l'influence que la transmission de l'électricité exerce sur l'état moléculaire des corps, soit en dispersant les particules quand elles lui font obstacle, soit en les modifiant physiquement ou chimiquement, quand elles lui livrent passage. Nous nous appuyons : 1° sur le fait que la manière la plus certaine et la plus efficace d'obtenir les figures sous toutes les formes, est d'employer les décharges électriques; 2° sur la circonstance que dans tous les cas où l'on produit les figures sans l'intervention directe de l'électricité, les conditions les plus favorables à cette production sont en même temps celles qui le sont également à un dégagement d'électricité.

Nous ne parlerons pas ici des autres figures ou images qu'on peut produire au moyen de l'électricité, telles que les anneaux de Priestley et ceux de Nobili, vu que les premiers sont dus à la chaleur qui accompagne l'étincelle électrique, et que les seconds sont l'effet d'une décomposition électro-chimique; leur étude trouvera donc naturellement sa place dans les deux chapitres suivants qui sont consacrés aux effets calorifiques et chimiques de l'électricité en mouvement.

§ 7. Vitesse de propagation de l'électricité.

Immédiatement après la découverte de la bouteille de Leyde, on avait constaté la rapidité prodigieuse avec laquelle se propage la décharge électrique, soit en la faisant passer à travers une file nombreuse d'hommes qui se tenaient tous par la main,

[1] Nous regrettons en particulier de ne pas parler des recherches de M. Masson, ainsi que de celles de M. Morren, qui du reste sont de nature à confirmer les idées que nous avons émises sur la cause de ces phénomènes.

soit en la transmettant au travers d'une longueur (milles dans la Tamise, espace qu'elle parcourait ins ment. L'expérience la plus exacte fut celle faite par ' le 5 août 1748. L'arc de clôture des deux armures d'u teille de Leyde était formé par un fil de fer long de 122 anglais, supporté en plein air par des supports isolants sec, et disposé de telle sorte que ses deux extrémité milieu se trouvassent dans la même chambre où était teille de Leyde et la machine électrique. Le fil était int au milieu de sa longueur, et cette solution de contin remplie par le corps de l'observateur qui tenait entre s les deux bouts du fil séparés par cette interruption. ment de la décharge, l'observateur voyait l'étincelle qui pait entre l'une des extrémités du fil et l'armure intér la bouteille, en même temps qu'il sentait la secousse par cette décharge, et il ne put jamais apercevoir le intervalle entre les deux sensations, d'où l'on conclut (pidité de la propagation à travers le fil était incomme

Longtemps après ces premiers essais, en 1834, Wl reprit l'examen de cette question d'après un procédé t nieux et applicable à un grand nombre d'autres reche procédé est fondé sur les effets de la réflexion d'un poi neux éloigné, par un miroir plan circulaire traversé p horizontal situé dans son plan et passant par son centr duquel il tou une très-gran dité (fig. 190). miroir fixé à l'a zontal GF port deux supports I et H. L'image lumineux, d'ap de la réflexion, arc d'un nomb grés double de décrit le miroi même temps,

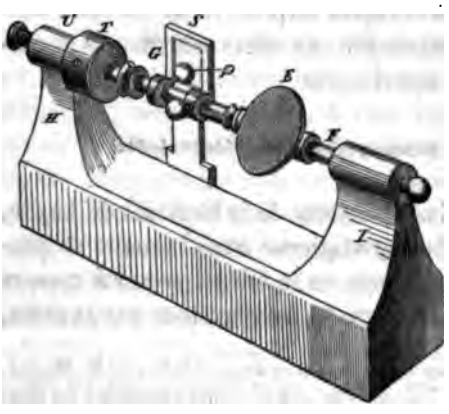


Fig. 190.

ıs le temps employé par le miroir à passer de la position
ıge du point lumineux a été visible pour l'œil immobile
ervateur, à celui où elle cesse de l'être. Si la durée de
re du point est moindre que le temps employé par le mi-
sser de l'une de ces positions à l'autre, l'arc lumineux
ıs la longueur que nous venons de lui assigner, en sup-
ette lumière permanente. Si même cette durée était
s'il arrivait que la lumière fût complétement instanta-
se réduirait à un point. Or, lorsque le point lumineux
étincelle électrique provenant d'une décharge opérée
entre deux conducteurs, l'image, qui n'est effective-
un point pour une vitesse du miroir de 50 tours par
devient un arc pour une vitesse plus grande, preuve
mière de l'étincelle a une certaine durée. Si l'on esti-
itesse de rotation du miroir, c'est-à-dire le nombre de
il fait dans une seconde, on pourrait, en mesurant avec
divisé le nombre de degrés occupés par l'image, dé-
le temps de la durée de l'éclairement produit par la
électrique, ou, ce qui revient au même, le temps de
le cette décharge. Ainsi Wheatstone, ayant trouvé cet
4° pour une rotation du miroir de 800 tours par se-
conclut une durée de $\frac{24}{720 \times 800} = \frac{1}{24000}$ de seconde.
dans le temps où le miroir en tournant parcourt 360°,
u point lumineux en parcourt 720; or, comme le mi-
00 tours dans la seconde, l'image parcourt 720°×800,
00° dans une seconde; mais comme elle-même a 24°
eur, il faut qu'elle ait duré pendant le temps exprimé
$\frac{}{00}$, soit $\frac{1}{24000}$.
le premier résultat obtenu par Wheatstone est que
rge qui produit l'étincelle électrique n'est pas com-
t instantanée, mais qu'elle a une durée excessive-
rte, il est vrai, susceptible cependant d'être éva-

ıt établi, voici comment le physicien anglais s'y prit
rminer la durée de la propagation dans un bon con-

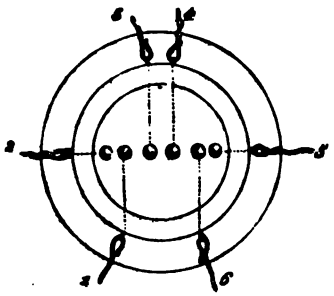


Fig. 191.

ducteur, tel qu'un fil
que. Il construisit un
qu'il nomma planche à
(spark board) (fig. 1
consiste en un disque
sur lequel sont placées
même ligne horizon
boules en cuivre, com
façon à ce qu'une m
charge électrique puis
lieu à trois étincelles. Ainsi la boule d'où part le fil
munique directement avec l'armure intérieure de la
dont la décharge passant à la boule voisine va de ce
par le fil 2 uni au fil 3 à la troisième boule; de là
à la quatrième boule dont le fil 4 la conduit à la
fil 5, pour traverser jusqu'à la boule dont le fil 6 est en
nication avec l'armure extérieure de la bouteille. Les
chacun des trois systèmes ne sont qu'à 2 millimètres
distance l'une de l'autre, ce qui constitue la distanc
cours pour chacune des trois étincelles; la planche
à étincelle a elle-même 7 centimètres et demi de
Maintenant les fils 2 et 3, ainsi que les fils 4 et 5, au l
mis immédiatement en communication, sont récipr
réunis par un fil conducteur de cuivre de 1^{mm}
mètre et de $\frac{1}{4}$ de mille de longueur[1], ce qui fai
une longueur de $\frac{1}{2}$ mille entre la boule n° 2 et la b
longueur interrompue dans son milieu par les boules
Ainsi la décharge, produisant dans le trajet trois éti
à parcourir, en supposant qu'elle parte de l'arm
rieure, un fil de cuivre de $\frac{1}{4}$ de mille de longueur ent
mière et la deuxième étincelle, et un fil de cuivre de $\frac{1}{4}$
aussi de longueur entre la deuxième et la troisième. Si
de propagation dans ces longs conducteurs est ap
l'apparition des trois étincelles ne doit pas être simul
l'expérience montre que l'étincelle du milieu est rel

[1] Soit 402 mètres et par conséquent 804 mètres pour un demi-m

port aux deux extrêmes, preuve donc que la propagation de ectricité n'est pas instantanée et qu'elle a lieu des extrémités conducteur qui réunit les deux armures jusqu'à son milieu. Voici comment Wheatstone dispose l'expérience pour ob- ir ce résultat et pour mesurer la vitesse de propagation. L'appareil de la figure 190 est placé à l'extrémité d'une nche d'acajou (fig. 192) sur laquelle se trouve une roue K

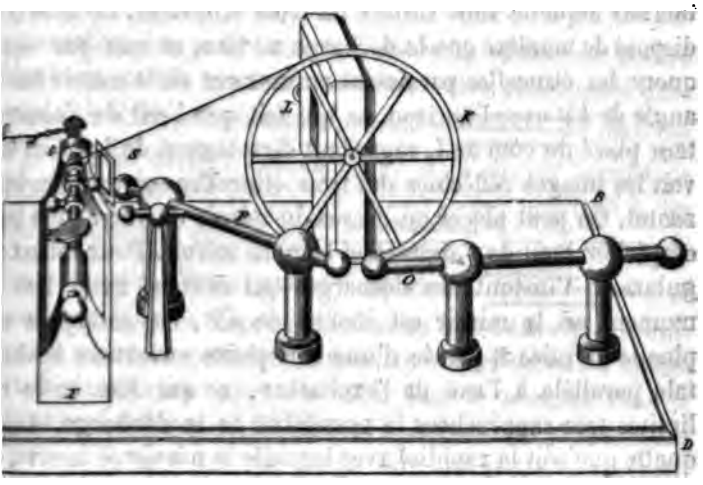


Fig. 192.

communique son mouvement à l'axe à l'aide d'un fil qui se dans les gorges creusées sur la circonférence des deux ces. Dans l'appareil de M. Wheatstone, le système des roues t tellement disposé que l'axe portant le miroir eût dû cuter 1800 révolutions pour une de la roue, s'il n'y eût eu un retard provenant du glissement du fil. Un déchargeur est en communication par son extrémité avec l'armure in- eure d'une bouteille de Leyde, qui est constamment élec- ée à l'aide d'une machine électrique; l'armure extérieure de même bouteille communique avec le fil n° 1 de la planche à ncelles, et le fil n° 6 aboutit à un renflement du support en ton sur lequel tourne l'axe du miroir. Ce même axe porte un is Q (fig. 190) qui tourne avec lui et qui, à chaque révolution, ramené vis-à-vis du bouton de l'excitateur, ce qui détermine

la décharge, laquelle, transmise à travers le circuit, passe entre les deux boules de l'excitateur, dont la distance est réglée pour cela, puis de l'extrémité de sa tige P au bouton du bras Q et de là à travers l'axe du miroir à la planche à étincelles où l'œil voit les trois étincelles. La planche elle-même est placée verticalement à une distance de trois mètres du miroir, et de façon que celui-ci soit sur le même niveau que la ligne horizontale sur laquelle sont situées les trois étincelles. Le bras Q est disposé de manière que la décharge ait lieu, et que par conséquent les étincelles paraissent au moment où le miroir fait un angle de 45° avec l'horizon, ce qui fait que l'œil de l'observateur placé du côté de I, regardant directement de haut en bas voit les images réfléchies des trois étincelles sur un plan horizontal. On peut placer au-dessus du miroir un verre plan pour empêcher l'œil de s'approcher trop du miroir. Pour mieux régulariser l'instant des décharges qui doivent avoir lieu au moment où le miroir est incliné de 45°, on interpose une plaque de mica S percée d'une très-petite ouverture horizontale parallèle à l'axe de l'excitateur, ce qui fixe entre des limites très-rapprochées la possibilité de la décharge. Aussi quelle que soit la rapidité avec laquelle le miroir se meuve, les étincelles sont généralement dans le champ de la vue.

Il y a, comme on le comprend, une grande importance à déterminer exactement la vitesse de rotation de l'axe qui porte le miroir. M. Wheatstone y est parvenu d'abord en calculant le ton du son produit par la succession des coups reçus par une petite bande de papier ou de carte attachée au bras Q, qui à chaque révolution de l'axe éprouve un choc. Lorsque la machine avait sa vitesse maximum on obtenait un sol dièze de la quatrième octave, ce qui correspondait à 800 révolutions du miroir par seconde. Plus tard, M. Wheatstone a réussi à munir l'instrument d'un compteur destiné à enregistrer le nombre des tours. Il est vrai que l'augmentation de la résistance au mouvement qui résulte de cette addition fait que le miroir ne peut pas exécuter plus de 600 révolutions par seconde.

En opérant au moyen de l'appareil disposé comme nous venons de l'indiquer, on voit, dès que la vitesse du miroir dé-

une certaine limite, les trois étincelles s'allonger en trois parallèles d'autant plus longues que le mouvement est rapide. Ces lignes sont des arcs de cercle dont les centres situés sur l'axe du miroir; la plus grande amplitude leur ait trouvée a été de 24°, ce qui, à 800 révolutions miroir par seconde, correspond à une durée de l'étincelle $\frac{1}{30,000}$ de seconde, comme nous l'avons vu. Quant à la position relative des trois images, lorsque la vitesse est encore leurs points extrêmes paraissent être exactement dans même verticale, et ont cette apparence ; mais dès la vitesse devient considérable, si le miroir tourne de à droite par rapport à l'observateur placé en I, les prennent l'apparence ; et s'il tourne de à gauche, elles prennent l'apparence ; ce indique dans les deux cas également que l'étincelle du mi- s'est montrée après les deux extrêmes, et qu'elle a égale- disparu après elles. En effet, dans le premier cas, le ir ayant dépassé les 45° du côté de la verticale quand l'étin- du milieu se montre, il est clair que le commencement n image doit se trouver en arrière du commencement de des deux autres étincelles qui ont apparu au moment où iroir était à 45°; ce doit être l'inverse dans le cas où le ir tourne de droite à gauche. M. Wheatstone a réussi aluer approximativement à un demi-degré la quantité l'image du milieu est en arrière ou en avant des deux s. Cet arc d'un demi-degré correspond à une durée de $\frac{1}{360 \times 1600} = \frac{1}{1,152,000}$ de seconde; l'espace parcouru cette portion de seconde étant de $\frac{1}{4}$ de mille, soit 1320 pieds ais, cela donne une vitesse de 288,000 milles par seconde. serait donc la vitesse de propagation de l'électricité dans il de cuivre, vitesse supérieure à celle de la lumière dans ace planétaire, qui n'en est que les $\frac{2}{3}$.

expérience de Wheatstone prouve en outre que dans un ui communiq par ses extrémités avec les armures d'une

bouteille de Leyde, le dérangement électrique se propage à partir des deux bouts du fil avec une égale vitesse, et reste un certain temps, très-court il est vrai, mais cependant appréciable, à arriver jusqu'au milieu du circuit. Nous reviendrons plus loin, en nous occupant de la lumière électrique, sur celle des expériences de Wheatstone qui concernent la durée de l'étincelle.

De nouvelles recherches sur la vitesse de l'électricité, faites avec des courants voltaïques transmis à travers les fils des télégraphes, ont donné des résultats bien différents de ceux qu'avait obtenus Wheatstone avec l'électricité ordinaire. Ainsi M. Walker de Washington avait trouvé que cette vitesse, dans un fil de fer de 3 millimètres de diamètre, était de 18,760 milles par seconde, et M. Mitchell avait trouvé 28,526; vitesses, toutes les deux, bien inférieures à celle de 288,000 qu'avait trouvée Wheatstone.

Plus tard, M. Gould profita d'un circuit voltaïque colossal de 1045 milles (1672 kilomètres), établi entre la station de Seaton, au nord du Capitole de Washington, et la ville de Saint-Louis, avec plusieurs stations intermédiaires telles que Pittsburg, Cincinnati, pour déterminer la vitesse de propagation du courant, d'après une méthode toute différente, et trouva 12,851 milles par seconde et 15,830 (25,600 kilomètres), en ne se servant que des expériences faites à une température inférieure à celle de la congélation de l'eau, l'isolement n'étant pas suffisant aux températures plus élevées. La méthode de M. Gould consistait à avoir un crayon articulé sur un morceau de fer doux qui, lorsqu'il appuie sur un papier blanc enroulé autour d'un cylindre auquel un mécanisme d'horlogerie imprime un mouvement uniforme de rotation, y dépose un trait régulier. Le morceau de fer doux est attiré par les pôles d'un électro-aimant entouré d'un fil dont l'un des bouts se rend à la roue d'échappement d'une pendule à secondes. Cette roue interrompt périodiquement le circuit, ce qui produit, par l'action de l'électro-aimant sur l'armure, des intermittences d'attraction qui se traduisent par des interruptions égales et équidistantes du trait sur le papier. Un appareil semblable étant disposé

:une des stations consécutives, ils fonctionnent tous
d'un courant unique qui parcourt leur circuit com-
Gould s'assura d'abord que la différence d'inter-
.re les traits aux différentes stations, correspondait
ır éloignement du lieu où le signal était donné, et
.ait proportionnelle au temps employé par le cou-
·courir le double [1] de la distance entre les stations.
rant ainsi les registres de chaque station, y compris
partait le courant, il parvint au résultat que nous
iqué.

izeau et Gonnelle avaient obtenu des résultats bien
, en opérant encore d'une autre manière. Le principe
éthode consistait à interrompre un courant à des inter-
temps très-rapprochés, et simultanément dans deux
ın long conducteur très-éloignés l'un de l'autre. Ces
ons s'opéraient au moyen d'une roue portant sur sa
nce un nombre de divisions égales alternativement
en métal, comme les rhéotomes que nous avons déjà
il était facile de disposer ces appareils de façon que le
: interrompu à deux ou plusieurs endroits, et que les
ons fussent bien simultanées là où elles avaient lieu.
ıomètre placé dans le circuit ne recevait ainsi que des
liscontinus; néanmoins, lorsque les interruptions se
nt rapidement, l'aiguille de l'instrument était déviée
nière stable, comme si le courant eût été continu. Seu-
ımplitude des déviations variait avec le nombre des
.ons qui avait lieu dans un temps donné, et atteignait
ıum pour un certain nombre d'interruptions en même
'elle avait un minimum pour un autre. Si la propa-
ı courant dans un long conducteur est instantanée,
r que le fait que le circuit éprouve des interruptions
es aux deux extrémités de ce conducteur, ne doit rien
, la déviation du galvanomètre, qui reste la même que
:ait d'interruptions qu'en un point du circuit. Mais si

ıle, à cause de l'obligation du courant à revenir à son point de départ.
, page 298 (fig. 130) et page 299 (fig. 131), page 402 (fig. 154).

la propagation exige un certain temps pour s'opérer, il ne peut plus en être ainsi, vu qu'au même moment où l'interruption a lieu au point de départ du courant, elle a lieu aussi à l'autre extrémité du conducteur, où ce même courant n'est pas encore arrivé. Lors donc qu'il y arrive il ne trouve plus l'interrupteur dans la même disposition; et la déviation du galvanomètre éprouve une diminution. Il en résulte que la vitesse de propagation devra donner naissance à des changements périodiques dans les déviations correspondantes à des vitesses de rotation des rhéotomes de plus en plus grandes, et que par conséquent on pourra de ces changements déduire la vitesse elle-même. C'est ce qu'ont fait MM. Fizeau et Gonnelle en se servant pour leurs expériences des fils télégraphiques de Paris à Rouen et de Paris à Amiens. Les deux fils de chacune de ces lignes pouvaient être réunis pour la première à Rouen et pour la seconde à Amiens; ils présentaient ainsi une longueur de 314 kilomètres pour la ligne d'Amiens et de 288 pour celle de Rouen. En opérant suivant la méthode que nous venons d'indiquer, au moyen de ces longs conducteurs dont l'un était en fer et l'autre en cuivre, les deux physiciens sont arrivés à admettre que la vitesse de propagation de l'électricité est indépendante de l'intensité du courant et de la section du conducteur, mais non de la nature, et qu'elle est de 100,000 kilomètres par seconde dans un fil de fer et de 180,000 dans un fil de cuivre. M. Latimer Clark avait déjà observé, en opérant avec des piles dont le nombre de couples variait de 31 à 500, et sur une longueur de fils de 768 milles anglais (1236 kilom.), que les courants se propagent, quelle que soit leur intensité, avec la même vitesse.

C'était au moyen d'observations astronomiques que M. Walker en Amérique, s'était déjà assuré, comme nous l'avons vu, que le courant voltaïque reste un temps appréciable à se propager dans un long conducteur. En se servant du courant pour déterminer la différence de longitude entre deux stations, il avait constaté que cette propagation n'est pas instantanée; ainsi, entre Philadelphie et Cambridge, le calcul montrait que le courant parti de l'une des deux villes, au moment du passage d'une étoile, n'arrivait pas à l'autre dans le même instant, et que

tenir compte du temps écoulé, qui était dans ce cas de
econde, pour la détermination de la différence en longi-
a comparaison de plusieurs observations faites entre les
ations de Washington, de Philadelphie et de Cambridge
onduit M. Walker à une vitesse de 30,000 kilomètres par
e. M. Mitchell, de l'observatoire de Cincinnati, à la suite
breuses épreuves sur la ligne télégraphique qui s'étend
innati à Pittsburg, avait trouvé par la même méthode
kilomètres par seconde. Enfin les astronomes des obser-
s d'Édimbourg et de Greenwich n'avaient obtenu que
, et ceux des observatoires de Greenwich et de Bruxelles
ent 4,300, c'est-à-dire cent fois moins que M. Wheatstone.
remarquer que dans ce dernier cas, le fil de cuivre des-
pérer la transmission entre Greenwich et Bruxelles était
ide partie plongé dans la mer.

un tableau qui, en résumant les déterminations, faites
différentes méthodes, de la vitesse de propagation de
cité, fait ressortir les grandes divergences qui règnent
gard entre les résultats obtenus par les divers obser-
.

NOMS des OBSERVATEURS.	NATURE du FIL.	VITESSE en kilomètres PAR SECONDE.
stone.	Fil de cuivre.	460800
et Gonnelle.	Fil de cuivre.	180000
Id.	Fil de fer.	100000
ll.	Fil de fer.	48600
r.	Fil de fer.	30000
	Fil de fer.	25600
omes de Greenwich et limbourg.	Fil de cuivre.	12200
omes de Greenwich et bruxelles.	Fil de cuivre.	4300

à M. Faraday qu'on doit d'avoir trouvé la cause de ces
s différences et d'avoir montré que les résultats numé-

riques que renferme le tableau ci-dessus ne dépendent pas seulement de la vitesse de propagation de l'électricité, mais tiennent aussi à un phénomène d'une toute autre nature. Déjà dans ses premières recherches sur la propagation de l'électricité dans les corps mauvais conducteurs, Faraday avait remarqué, en parlant des expériences de Wheatstone, que la vitesse de la décharge peut varier beaucoup suivant la tension ou l'intensité de la première force impulsive. Il ajoutait même que le retard de l'étincelle moyenne sur les étincelles extrêmes deviendrait probablement plus sensible si les deux extrémités du fil métallique, qui transmettait la décharge, étaient en communication immédiate avec deux grandes surfaces métalliques isolées et surtout si ces deux grandes surfaces étaient l'une l'armure intérieure et l'autre l'armure extérieure d'une bouteille de Leyde. Or, le savant physicien anglais a tout dernièrement confirmé l'exactitude de sa conjecture au moyen d'expériences directes faites avec des fils télégraphiques recouverts de gutta-percha, destinés à l'établissement des lignes sous-marines et souterraines. S'étant procuré deux cents bobines de ces fils de huit cents mètres de longueur chacune, il les suspendit à une série de barques rangées dans un canal, de façon que chaque bobine fût entièrement plongée dans l'eau à l'exception d'une petite longueur du fil aux deux extrémités. Il réunit ensuite bout à bout les extrémités des fils de chaque bobine dépouillées de leur enveloppe isolante, de manière à constituer un fil unique de cent soixante mille mètres de longueur, et il fit communiquer une des extrémités de ce long fil avec l'un des pôles d'une pile, en mettant dans le circuit un galvanomètre très-sensible. La pile était composée de trois cent soixante couples zinc et cuivre chargés avec de l'eau acidulée, elle était parfaitement isolée et communiquait avec le sol seulement par son autre pôle. Au moment où l'on supprimait la communication de la pile et du long fil, on éprouvait une commotion très-forte en touchant l'une ou l'autre des extrémités du long fil; cette commotion avait assez de durée pour qu'on pût la décomposer, en ne touchant chaque fois le fil qu'un instant, en une quarantaine de secousses successives. Si, au lieu de toucher une des

extrémités du fil, on la faisait communiquer avec l'un des bouts d'un galvanomètre dont l'autre bout aboutissait au sol, l'aiguille était fortement déviée et l'effet était encore sensible quand on ne faisait l'expérience qu'une demi-heure après que la communication entre le fil et la pile avait été interrompue.

Il est évident que ce résultat est dû à ce que le long fil, l'enveloppe qui l'isole et le liquide conducteur qui l'entoure forment une bouteille de Leyde d'une énorme surface, qui doit, en conséquence, se charger d'une quantité considérable d'électricité, quand son armure intérieure, qui est le fil, communique avec une source électrique, lors même que cette source électrique est de faible tension, comme l'un des pôles de la pile[1]. Dans l'expérience que nous avons citée, le fil de cuivre ayant 1mm, 6 de diamètre, et la couche de gutta-percha, 2mm, 5 d'épaisseur, il en résultait que l'armure intérieure de la bouteille de Leyde, formée par le long fil plongé dans l'eau, avait une surface de 770 mètres carrés d'étendue, et l'armure extérieure de 3,050. Du reste, le phénomène est naturellement d'autant plus prononcé que la pile a plus de tension et qu'elle est par conséquent composée d'un plus grand nombre de couples, la surface de ces couples étant, au contraire, indifférente.

Il est assez curieux de voir le galvanomètre qui est dans le circuit, être fortement dévié au moment où l'on fait communiquer l'une des deux extrémités du long fil avec l'un des pôles de la pile, lors même que le fil est isolé; cet effet est évidemment dû au passage de l'électricité qui charge l'armure intérieure de cette espèce de bouteille. De même au moment où l'on supprime la communication avec la pile, on obtient une forte déviation en sens contraire, pourvu que celui des bouts du galvanomètre qui n'est pas en communication avec l'extrémité du long fil

[1] Volta, immédiatement après la découverte de la pile, avait déjà montré qu'on peut charger une bouteille de Leyde en faisant communiquer son armure intérieure avec l'un des pôles de la pile, l'autre pôle étant mis en communication avec le sol.

aboutisse au sol. Cette seconde déviation manifeste la d
comme la première indiquait la charge.

Les effets que nous venons de décrire avaient déjà ét
vés par Siemens au moyen des fils télégraphiques so
établis en Prusse. Il avait remarqué l'établissement
fils, pourvu qu'ils fussent bien isolés, des courants ins
de charge et de décharge que nous venons de signaler
mier ayant lieu au moment où une des extrémités du
était mise en communication avec l'un des pôles d'un
le second, au moment où cette communication cessait
pile était remplacée par un conducteur aboutissant a
analysant ce phénomène, M. Siemens en avait bien di
véritable cause ; il avait reconnu dans le fil de cuivre
intérieure d'une bouteille de Leyde, dont le sol hum
l'armure extérieure et l'enduit de gutta-percha la co
lante.

Aux faits que nous venons d'exposer, Faraday en a
plus curieux encore, qui est cependant toujours la con
du même principe. Il s'est servi de quatre fils soute
600 kilomètres de longueur chacun, qui sont étal
Londres et Manchester ; à la station de Manchester il a
extrémités du premier et du second fil et celles du tr
du quatrième. A la station de Londres, il a fait com
avec l'extrémité du premier fil l'un des bouts d'un
mètre, dont l'autre bout était fixé au pôle d'une pile
son autre pôle en communication avec le sol ; il a rén
fil d'un second galvanomètre, l'extrémité du second e
sième fil, et enfin il a attaché un troisième galvanom
muniquant aussi avec le sol à l'extrémité du quatrièn
moment où ce circuit a été fermé, l'aiguille du premi
nomètre a été immédiatement déviée, celle du deuxiè
été qu'au bout d'un intervalle sensible, et celle du tro
peu plus tard encore, environ deux secondes après cell
mier. On a interrompu la communication du premier
mètre avec la pile ; aussitôt l'aiguille de ce galvanom
rapprochée du zéro, celle du second n'a commencé à s
qu'un peu de temps après, et celle du troisième plus

u établissant et supprimant cette communication à in-
s suffisamment rapprochés, on peut, pour ainsi dire,
ner dans le fil des ondes électriques successives, de telle
ne les trois galvanomètres soient traversés au même
par trois ondes différentes. Et si, après avoir supprimé
unication du premier galvanomètre avec la pile, on
mmuniquer ce galvanomètre avec le sol, l'électricité
fil est chargé se décharge simultanément par ses deux
és, de façon que le premier et le troisième galva-
sont déviés en même temps dans des directions op-

l au lieu de fils souterrains Faraday employa des fils
nt suspendus dans l'atmosphère, les effets furent très-
qués; les galvanomètres furent déviés et revinrent au
esque au même instant tous les trois; c'est qu'ici il n'y
s de bouteille de Leyde, puisqu'il n'y avait pas d'ar-
térieure et par conséquent d'induction latérale possible.
tte induction peut, comme nous l'avons vu plus haut,
de deux secondes la propagation de l'onde électrique
s fils souterrains longs de 2,400 kilomètres, propa-
qui est instantanée dans un fil de même longueur
ns l'air. Cependant, lors même que le fil n'est pas
dans l'eau ou placé dans le sol humide, il peut arriver
voisinage du sol, lorsqu'il en est très-rapproché, ou la
e de conducteurs voisins tels qu'une paroi conduc-
nissent déterminer une induction latérale bien moins
est vrai, mais susceptible pourtant de retarder plus ou
a propagation de l'électricité. C'est à cette circonstance,
e suivant la disposition des fils télégraphiques, qu'on
tribuer en grande partie les différences considérables
s avons remarquées dans les résultats obtenus par di-
servateurs sur la vitesse de propagation de l'électricité,
ces telles, que dans le tableau inséré plus haut, le premier
est le centuple du dernier. Il est vrai que l'expérience
it donné le dernier était faite avec un fil immergé sous
ns la plus grande partie de sa longueur, tandis que
i avait fourni le premier était faite avec des fils tendus

parallèlement et à une assez grande distance les uns des aut du sol, et réunis alternativement bout à bout, de manière former qu'un seul fil continu replié plusieurs fois sur lui-m Toutefois, dans ce cas, il y avait encore une induction l opérée par les parois et le plancher de la chambre où l étaient tendus, peut-être même par les fils les uns s autres[1], ce qui explique le petit retard éprouvé par l'éti du milieu sur les deux étincelles extrêmes.

Il résulte donc du travail de M. Faraday que les expéri par lesquelles on avait cru pouvoir mesurer la vitesse de p gation de l'électricité ne sont nullement concluantes. En elles étaient fondées sur une fausse analogie qu'on avait c d'établir entre l'électricité et les agents rayonnants, tels q lumière et la chaleur. La propagation de l'électricité est toute autre nature; elle résulte évidemment d'une modifi imprimée à la matière pondérable interposée entre les deux cipes électriques; modification qu'on peut comparer à celle prouve une série de billes d'ivoire qui transmettent le mo ment que la première reçoit, ou un corps élastique qui pr le son; ce qui fait que la vitesse de la propagation doit varier les corps qui l'exercent et avec les circonstances dans lesqu ils sont placés, comme l'ont observé MM. Fizeau et Gonn dont les résultats nous paraissent le mieux représenter la vi réelle de propagation de l'électricité. Elle nous paraît en devoir varier, du moins dans l'évaluation qu'on en fait, av nature des effets par lesquels l'électricité accuse sa présen va sans dire que nous ne parlons ici que de la propagation r de l'électricité; car la propagation lente est un phénomène tout autre genre, et ce n'est pas d'elle qu'il s'agit[2].

[1] Ces fils étaient en effet à une distance de 16 centimètres les uns des a et pouvaient par conséquent s'influencer mutuellement.

[2] Les expériences de M. Latimer Clark, que nous avons citées plus haut (p. en montrant que la vitesse de propagation du courant est la même, quelle q la tension de la pile, fournissent une preuve bien forte en faveur de l'a que nous admettons entre le mode de propagation de l'électricité et celui des qui se propagent avec la même vitesse dans le même milieu, lors même q sont plus ou moins aigus et plus ou moins in C'est ce qu'avait re

autre conséquence qu'on peut tirer des expériences de
ıy, c'est la liaison intime qui existe entre les deux formes
ctricité, que nous avons désignées sous les noms de stati-
de dynamique. Nous savions déjà, grâce aux recherches
Colladon, que l'on peut produire un courant capable
sur le galvanomètre en soutirant par une pointe l'élec-
statique accumulée sur un conducteur isolé. Nous voyons
verse, c'est-à-dire que Faraday a réussi, en lançant le
ıt d'une pile dans un long conducteur isolé, à le charger
ricité statique. Déjà il avait obtenu un effet analogue au
ı des courants d'induction, mais le changement de l'élec-
dynamique en statique est plus direct et plus concluant
es expériences que nous venons de rappeler.

terminant ce paragraphe et ce chapitre, nous ne pouvons
empêcher de faire remarquer d'avance, pour justifier
lue que nous lui avons donnée, combien l'étude générale,
aillée en même temps, que nous venons de faire de la
gation de l'électricité, facilitera celle que nous allons
er des phénomènes auxquels cette propagation donne
nce.

oni, sur la demande duquel M. Latimer Clark avait entrepris les expériences
ntes dont nous avons fait connaître les résultats. Le savant physicien ita-
it également observé que le retard que la vitesse du courant éprouve dans
outerrains par l'effet de l'induction latérale, doit être le même, et que par
ent la vitesse absolue doit être également la même, quelle que soit la
de la pile ; et cela, parce que la portion de l'électricité qui est déviée du
la paroi du fil par l'effet de l'induction (ce qui produit le retard), y étant
par une force qui provient de cette électricité même, elle doit nécessaire-
urier proportionnellement à son intensité, et produire par conséquent un
ui est toujours le même.

des principaux travaux relatifs aux sujets traités dans ce chapitre :

ı *Lire.* — Distribution et lois de la propagation de l'électricité dynamique.
oire de la Soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève. T. III, p. 109. —
ı *de ch. et de phys.* T. XXVIII, p. 190. — Influence de la chaleur sur la
ibilité électrique. — *Bibl. univ.* T. VII, p. 388.
hoff. — Lois de la distribution dans une plaque métallique. — *Annales de*
le phys. (*nouvelle série*). T. XL, p. 115 et 327, T. XLI, p. 496.

Fechner. — Lois expérimentales de l'intensité des courants dans un c fermé. — 1 vol. in-4°. Leipsick, 1831.

Pouillet. — *Idem.* — *Comptes rendus de l'Académie des sciences de* T. VI (1837), p. 267. — *Traité de Physique.*

Wheatstone. — Rhéostat et instruments électriques — *Annales de ch. phys.* (*nouvelle série*). T. X, p. 257. — Vitesse de l'électricité. — *Trans. de la Société royale de Londres* (1836), 2e partie, p. 583, et *Arch. de l tricité.* T. II, p. 35.

Jacobi. — Étalon de résistance. — *Comptes rendus de l'Académie des s de Paris.* T. XXXIII (1851), p. 280.

Matteucci. — Propagation de l'électricité dynamique dans les liquides. *nales de ch. et de phys.* T. LXIII, p. 256, et t. LXVI, p. 225. — Conduc — *Annales de ch. et de phys.* (*nouvelle série*). T. XV, p. 498. — Prop dans les mauvais conducteurs. *Annales de ch. et de phys.* (*nouvelle* T. XXVII, p. 133, et t. XXVIII, p. 385.

Marianini. — Propagation dans les liquides. — *Annales de ch. et de* T. XXXIII, p. 141, et t. XLII, p. 131.

Ohm. — Lois de la propagation des courants. — *Archives d'électricité.* T.

Kohlrausch. — Mode de propagation du courant. — *Arch. des science* T. XXII, p. 105.

E. Becquerel. — Conductibilité des solides et des liquides. — *Annales et de phys.* (*nouvelle série*). T. XVII, p. 262, et t. XX, p. 53. — Conducti gaz. *Idem.* T. XXXIX, p. 355.

Lenz. — Conductibilité de quelques corps. — *Bibl. univ.* (1838). T. XVI — *Idem.* Conductibilité à des températures différentes. — *Annales de ch phys.* T. XXXIX, p. 355.

Wartmann. — Conductibilité des substances minérales. — *Mémoire Soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève.* T. XXIII (Ire partie). — *Arch. phys.* T. XXII, p. 84.

Hankel. — Influence de la chaleur sur la conductibilité des liqui *Arch. des sc. phys.* T. VI, p. 66.

Riess. — Conductibilité électrique de quelques corps solides et des co conducteurs. — *Arch. de l'électricité.* T. LI, p. 91 et 177. — Portée explo *Idem.* T. I, p. 206 et 425. — Images électriques. *Arch. des sc. phys.* T. I, p

Vorsellmann de Heer. — Influence de la chaleur sur les électrodes. — *de l'électricité.* T. I, p. 589.

Beetz. — Même sujet. — *Arch. des sc. phys.* T. XIII, p. 282.

Karsten. — Conductibilité des sulfures. — *Arch. des sc. phys.* T. V, p — Figures électriques. — *Arch. de l'électricité.* T. III, p. 310, et t. IV, p

Rousseau. — Appareils pour la conductibilité imparfaite. *Annales de ch phys.* T. XXV, p. 393.

Wiedemann. — Conductibilité des cristaux. — *Arch. des sc. phys.* T. XXII, p

De Sénarmont. — Même sujet. — *Annales de ch. et de phys.* (*Nou série.*) T. XXVIII, p. 257.

Knoblauch. — Direction des cristaux entre deux pôles électriques. — *Annales des sc. phys.* T. XIX, p. 214[1].

Ermann. — Conducteurs unipolaires. — *Ann. de chim.* T. LXI, p. 113, et *Annales de ch. et de phys.* T. XXV, p. 298.

Pellier. — Vaporisation favorisée par l'électricité. — *Annales de ch. et de phys.* T. LXXV, p. 330. — Modifications moléculaires des conducteurs. — *Comptes rendus de l'Acad. des sciences.* T. XX (1845), p. 62, et *Arch. des sc. phys.* T. V, p. 182.

Andrews. — Conductibilité des flammes. — *Bibl. univ.* T. VI (1836), p. 158.

Belli. — Différence entre la vitesse de dispersion des deux électricités. — *Bibl. univ.* T. XXIII (1838), p. 196.

Morgan. — Conductibilité du vide et propagation dans les conducteurs immédiats. — *Bibl. Brit.* T. II, p. 119, et t. XII, p. 3.

Harris. — Influence électrique de l'air raréfié. — *Bibl. univ.* T. XVII (1838), p. 195, et *Transact. philos.* (1834), 2e partie, p. 203.

Davy. — Conductibilité du vide. — *Annales de ch. et de phys.* T. XX, p. 168.

Fusinieri. — Transport des substances solides par les décharges. — *Archives de l'électricité.* T. III, p. 597, et t. V, p. 516.

Moser. — Images. — *Comptes rendus de l'Acad. des sciences.* T. XV (1842), p. 119, 448, 855 et 1201.

Knorr. — Images électriques. — *Arch. d'électr.* T. V, p. 115.

Hunt. — Même sujet. — *Idem.* T. V, p. 5.

Morren. — Même sujet. — *Comptes rendus de l'Acad. des sciences.* T. XVI, p. 1078 et 1303; et t. XVII, p. 87.

Masson. — Même sujet. — *Idem.* T. XVI, p. 762 et 1652; et *Arch. d'électr.* T. III, p. 445.

Walker et Gould. — Vitesse de l'électricité. — *Ann. des sc. phys.* T. XIX, p. 303.

Fizeau et Gounelle. — Même sujet. — *Comptes rendus de l'Acad. des sciences.* T. XXX, p. 137, et *Arch. des sc. phys.* T. XIV, p. 212.

Faraday. — Conductibilité électrique, décharges, etc. — *Collection de Mémoires extraits des Trans. phil. de* 1832 à 1838, 1 vol. in-8. — Induction exercée par la propagation dans les longs fils. — *Arch. des sc. phys.* T. XXV, p. 209.

Becquerel père. — Conductibilité. — *Ann. de ch. et de phys.* T. XXXII, p. 420. — *Traité d'électricité.*

[1] Dans le nombre des recherches qui démontrent l'influence de la structure moléculaire des corps sur leurs propriétés électriques, nous avons omis de parler de celle de M. Knoblauch. Ce physicien a remarqué que les cristaux suspendus entre les pôles opposés de deux piles sèches très-fortes, affectent une direction toujours la même, qui est liée avec la disposition de leurs plans de clivage. Il a réussi à obtenir les mêmes effets en construisant artificiellement des corps où le mode d'agrégation n'était pas le même dans toutes les directions, comme M. Tyndall et lui l'avaient déjà fait pour imiter les propriétés magnétiques et diamagnétiques des cristaux. (Tome I, p. 523.)

CHAPITRE II.

EFFETS CALORIFIQUES ET LUMINEUX DE L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE.

§ 1. Formes et conditions sous lesquelles la chaleur et la lumière sont produites par l'électricité dynamique.

Nous avons déjà fait mention de la propriété que po l'électricité en mouvement de donner naissance, dans sa tr mission, à de la chaleur et à de la lumière. Nous avons m décrit des voltamètres calorifiques fondés sur la chaleur développe le courant électrique en traversant un fil fin métal[1]. Nous avons également exposé quelques-uns des p nomènes de chaleur et de lumière que produisent les décha électriques, sous formes d'étincelles ou d'incandescence et fusion des métaux[2]. Nous sommes appelé maintenant à étu de plus près cet ordre de faits, à en examiner les détails et à rechercher les lois.

La chaleur et la lumière qui accompagnent la réunion deux électricités ou cet état que nous avons désigné sous nom d'électricité dynamique, se présentent sous des for très-variées. La plus simple et la plus directe est l'élévation température qui résulte, dans un conducteur, du passage l'électricité dynamique, soit continue, telle qu'un courant, instantanée, telle qu'une décharge. Cette élévation de temp ture est d'autant plus considérable pour un même conduct que ce conducteur a des dimensions moindres, et par conséq qu'il présente plus de résistance à la transmission de l'é tricité et un volume moins grand à l'action de la chal

[1] Tome I, pages 30 et suivantes.

[2] Tome I, pages 116 et suivantes.

Elle varie également avec la nature des conducteurs; ı lieu dans tous, aussi bien dans les liquides que dans s, seulement à des degrés différents suivant leur eurs dimensions.

onde forme sous laquelle se manifestent encore la la lumière électriques est celle qu'on désigne sous le *ıcelle électrique* et d'*arc voltaïque*. Elle diffère de la l'abord en ce qu'elle donne toujours nécessairement à la fois à de la lumière et à de la chaleur, tandis que re produit de la chaleur obscure et ne dégage de que lorsque la chaleur devient assez intense pour conducteur incandescent. La seconde forme diffère la première en ce que les phénomènes lumineux et s s'y manifestent par le passage de l'électricité dyna- n à travers un conducteur continu, mais entre deux rs chargés d'électricités contraires, placés à une dis- ou moins grande l'un de l'autre et séparés par un lant ou mauvais conducteur, tels que le vide, un tique ou un liquide. L'étincelle diffère de l'arc vol- ec lequel elle a du reste beaucoup de rapport, en ce le résultat de la réunion instantanée des deux élec- ndis que l'arc est produit par leur réunion continue, u'on peut regarder l'arc comme composé d'une série s qui se succèdent très-rapidement. L'étincelle est en roduite par les décharges des machines électriques et illes de Leyde dans le phénomène que nous avons plosion, tandis que l'arc se manifeste entre deux con- communiquant chacun avec l'un des pôles d'une pile . Toutefois, l'identité réelle qui existe, malgré la d'apparence, entre l'étincelle et l'arc, peut facilement atée en faisant usage, pour les produire, des courants on qui sont également propres à les manifester tous . Un caractère commun également à l'étincelle et à t le transport de matière pondérable qui accompagne leur manifestation.

que soit celle des deux formes sous lesquelles se mani- égagement de lumière et de chaleur produit par l'élec-

tricité, il existe, pour l'une comme pour l'autre, une condi nécessaire à leur manifestation : c'est que l'électricité dy que rencontre dans sa transmission une résistance, et c'est les points d'un même circuit où cette résistance est le grande, que la chaleur et la lumière sont le plus inte Cette première condition en entraîne une seconde, c'est que pareil électrique puisse dégager des électricités douées tension suffisante pour vaincre la résistance du milieu à tr lequel leur réunion doit s'opérer.

Dans l'examen que nous allons faire des phénomènes nous venons simplement d'indiquer, nous commencerons ceux qui se manifestent sous la première forme, c'est-à- dans le cas où la propagation de l'électricité a lieu à traver conducteur continu; nous passerons ensuite à ceux qui lieu quand le conducteur est interrompu (étincelle électri arc voltaïque); puis nous terminerons ce chapitre p étude plus spéciale de la lumière électrique et de ses priétés.

§ 2. Effets calorifiques produits par le passage de l'électri dynamique à travers de bons conducteurs.

Ce ne fut guère qu'après que la science eut été mise en session de la bouteille de Leyde, que l'on put étudier les de chaleur produits par les décharges électriques à trave bons conducteurs. Franklin réussit à fondre, par ces déch des feuilles minces de métal; Beccaria et surtout Priestley vinrent à rendre incandescents et même à fondre des fils talliques de la même manière. Priestley avait même fait observation très-importante dont toutes les expériences quentes ont confirmé l'exactitude, savoir : que si l'on fait la décharge d'une forte batterie électrique à travers deux métalliques successifs liés bout à bout l'un à l'autre, de longueur, de même diamètre, mais de nature différente, il en a qu'un qui soit fondu et dispersé, et c'est toujours le conducteur des deux. Ainsi, de deux fils, l'un de fer, l'autre

c'est le fer qui est dispersé totalement par l'explosion, que le cuivre reste intact; de deux fils, l'un de cuivre, d'argent, c'est le cuivre qui est dispersé, et c'est l'ar- tand le second fil est d'or au lieu d'être de cuivre.

berson, en opérant dans l'air, sur des fils de différents de $0^m,27$ de longueur, et avec une batterie dont les s intérieures avaient à peu près $1^m,79$ carrés de surface, otenu les résultats suivants :

NATION DES TAUX.	DIAMÈTRE DES FILS [1].	CHARGE en grains DE L'ÉLECTROMÈTRE.	COULEUR de la poussière métallique recueillie.
plomb.	$\frac{1}{50}$	20	Gris peu foncé.
ain.	$\frac{1}{50}$	30	Presque blanc.
inc.	$\frac{1}{50}$	45	Id.
er.	$\frac{1}{150}$	35	Brun rougeâtre.
uivre.	$\frac{1}{150}$	35	Brun tirant sur le pourpre.
latine.	$\frac{1}{150}$	35	Noir.
gent.	$\frac{1}{150}$	48	Id.
.	$\frac{1}{150}$	40	Pourpre brunâtre.

iamètres sont évalués en fractions de pouces anglais.

esurant, d'une part, la charge de la batterie au moyen ectromètre [2], et, d'autre part, l'action calorifique pro- ar la décharge en prenant pour unité de mesure la lon- d'un fil de fer fondu d'un diamètre donné, Cuthberson ouvé que l'action calorifique était à peu près proportion- u carré de la charge de la batterie pour certaines lon- des fils. Cette loi, entrevue seulement par Cuthberson, vait que des moyens d'observation très-imparfaits, a été usement établie par Riess, comme nous le verrons dans

ctromètre à poids employé par Cuthberson est semblable à l'électro- chargeur du même physicien (tome I, page 115), dans lequel un petit teur peut être placé à différentes distances de l'axe de l'appareil, le long les tiges, qui est divisée de manière à ne déterminer la décharge que quand int une certaine intensité de l'électricité.

l'instant, non pas pour la fusion, mais pour l'échauf
même des fils.

Avec la grande machine du musée de Teyler, à Harlem,
Marum était parvenu à fondre un fil de fer de 16 mètres de
gueur; et, en opérant avec des fils de nature différente,
de même diamètre, il avait trouvé que la longueur qu'il
vait en fondre avec la même charge était la plus grande p
plomb, puis pour l'étain, pour le fer, pour l'or, etc. Quan
expériences ont lieu dans l'air, les fils sont, non-seule
chauffés et fondus, mais sont de plus brûlés s'ils sont d'un
oxydable. Priestley en avait déjà fait la remarque quo
n'eût pas alors de notions justes sur la combustion; il
observé en particulier que, lorsque le fil de fer est fond
l'explosion électrique, des étincelles brillantes se disp
autour de la chambre en toutes sortes de directions, ce
un signe de combustion. Avec des fils d'acier on voit, l
la charge de la batterie n'est pas suffisante pour les fondre,
surface revêtir des couleurs diverses, correspondantes
degrés d'oxydation qu'ils ont éprouvés. Le platine et l'
s'oxydent pas, mais ils sont simplement fondus et volati
Dans l'azote ou l'hydrogène les autres métaux se réduisent
plement, par l'effet d'une décharge qui les disperse, en
poussière fine non oxydée.

Toutes les expériences que nous venons de citer se fo
moyen des *déchargeurs* décrits tome I, page 115, et dan
ballons munis de tiges de cuivre qui servent à transmett
décharge aux fils, quand il s'agit d'opérer dans d'autres m
que dans l'air ordinaire.

Bien vite après la découverte de la pile voltaïque, on ob
que le passage du courant électrique à travers des fils m
ques pouvait, aussi bien que la transmission des décharg
chauffer, les rendre incandescents et les fondre, et qu'on
nait de la même manière, avec des feuilles métalliques
minces, telles que des feuilles d'or battu, des phénomène
déflagration très-intenses. Cuthberson signala quelques
rences importantes entre l'effet du courant et celui de
charges. Ainsi, outre la durée de l'ignition, qui a lieu d

premier cas et non dans le second, il y a encore une différence entre les deux modes, savoir, qu'il se produit, avec les décharges, une explosion qui disperse et réduit en poudre les fils métalliques, tandis que rien de semblable ne se passe avec le courant.

Fourcroy, Vauquelin et Thénard remarquèrent, lès premiers, que les piles voltaïques à grandes surfaces, tout en n'ayant pas plus de tension pour un même nombre de couples que celles à petites surfaces, développaient beaucoup plus de chaleur que les dernières dans les fils métalliques placés entre leurs pôles. Davy trouva, de son côté, qu'avec une pile à larges plaques, on pouvait mettre immédiatement de l'eau en ébullition en y plongeant un fil de fer long de 65 centimètres, et d'un diamètre de $\frac{1}{8}$ de millimètre, placé entre les pôles de cette pile. Ce fil lui-même pouvait devenir rouge-blanc sur une longueur de 8 à 10 centimètres. Il avait déjà auparavant réussi le premier à faire rougir et à brûler des fils d'acier, des lames minces d'étain, de zinc, de cuivre, d'argent et d'or. Chacun de ces métaux en brûlant donne une flamme d'une couleur différente, accompagnée d'une espèce de crépitation et d'une sorte de sifflement remarquable. Le zinc donne une flamme bleue; l'étain, pourpre; le plomb, jaune avec un bord violet; le cuivre, verte accompagnée de vives étincelles; l'argent, blanche au centre, et verte sur les bords; l'or, jaune brillante. Tous ces métaux s'oxydent dans cette déflagration; l'or en particulier passe à l'état d'oxyde brun. Le platine seul, réduit en feuilles aussi minces que possible, rougit à blanc, se fond, scintille sur les bords, mais ne passe pas à l'état d'oxyde.

Pour faire ces expériences commodément, il faut avoir une petite échelle composée de deux tiges métalliques verticales fixées sur un pied en bois et réunies par de gros fils de laiton, situés parallèlement les uns au-dessus des autres, à 10 ou 12 centimètres de distance (fig. 193). On suspend des feuilles métalliques à ces espèces d'échelons, de façon que les feuilles

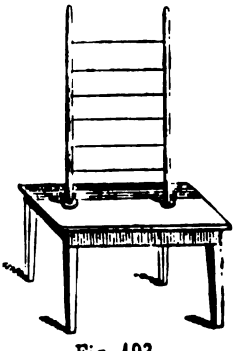


Fig. 193.

de même nature soient suspendues au même fil, puis après avoir mis en communication l'échelle métallique avec l'un des pôles de la pile, on fait aboutir l'autre à une boule de laiton ou mieux encore de platine, fixée à l'extrémité d'un manche de verre ou de bois. On touche successivement avec la boule chacune des feuilles minces et on détermine sa déflagration et sa combustion en la mettant ainsi dans le circuit voltaïque. On peut de cette manière étudier très-bien le phénomène sur chaque feuille métallique séparément.

Plus tard, Children observa, sur une grande échelle et d'une manière détaillée, les effets calorifiques de l'électricité dynamique dans les bons conducteurs. Ce physicien se servit d'une pile de 25 couples cuivre et zinc, dont chaque plaque avait 3 mètres $\frac{1}{2}$ carrés de surface, chargés avec de l'eau acidulée. Il commença par interposer entre les pôles de cette pile des fils métalliques associés deux à deux, de manière à former un seul conducteur composé de deux bouts de fil de nature différente, mais de même longueur et de même diamètre; le moins conducteur s'échauffait, rougissait même, tandis que l'autre restait froid; ainsi en formant une chaîne métallique de trois fils de platine et de trois fils d'argent qui alternent, on voit tous les fils de platine devenir incandescents, tandis que ceux d'argent ne le deviennent pas. Ce résultat est semblable à celui que Priestley avait obtenu, en se servant de décharges au lieu de courants. Une autre expérience de Children, qui lui fut suggérée par Wollaston, consiste à mettre parallèlement l'un à l'autre dans le circuit, deux fils de platine de même longueur; mais l'un de 1 millimètre de diamètre et l'autre de $\frac{1}{2}$ millimètre seulement; on voit le plus épais des deux fils rougir, tandis que lorsque les deux fils sont réunis à la suite l'un de l'autre, c'est l'inverse, c'est-à-dire le plus fin qui rougit. Dans le second cas, comme ils font partie du même circuit, il n'est pas étonnant que le plus fin qui présente le plus de résistance au courant s'échauffe davantage; quant au premier cas, le plus gros transmettant une proportion plus forte d'électricité et ayant une surface de refroidissement, proportionnellement à son volume, moins grande que le plus fin, il est celui qui doit acquérir la température la

ildren, au moyen de son puissant appareil, avait
en incandescence et même en fusion des fils de
s et passablement longs; l'un d'eux avait 5 mil-
mètre et 7 centimètres de longueur; mais tous
obtenus dès lors sur une bien plus grande échelle
iles de Grove et de Bunzen.

plus conve-
roduire les
omènes d'in-
s fils que
le décrire,
§) dans deux
iton, fixées
ible et mises
ne pince en
avec les pô-
une avec le
vec le néga-

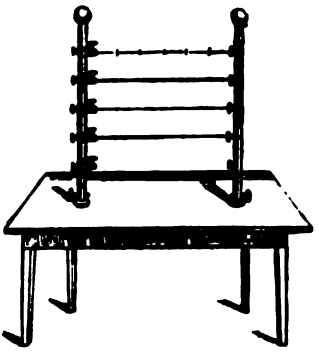


Fig. 194.

colonnes porte des pinces auxquelles on fixe,
urs extrémités les divers fils qu'on veut met-
cuit, l'autre extrémité de chacun de ces fils
itour d'une cheville en métal, qui elle-même
n trou percé dans la seconde colonne à la même
pince correspondante de la première colonne;
le fil, lorsqu'il est tendu, soit bien horizontal.
ir éviter que les fils soient tous en même temps
, au-dessous de chacun des trous de la se-
il s'en trouve un second semblable, mais revêtu
d'une couche isolante, de cire, de verre ou
dans ces trous qu'on insère les chevilles aux-
sent les fils qu'on ne veut pas mettre dans le
celui ou ceux qu'on veut échauffer par le pas-
it, dans les trous métalliques. De cette manière
cessivement l'effet de la transmission du même
is les différents fils, les uns homogènes, les au-
le bouts alternativement d'une espèce et alter-
ne autre, les uns plus gros, les autres plus fins,

ou étudier ce même effet simultanément sur deux fils parallèlement dans le circuit; par exemple, un fil fin et gros de platine, deux fils de même diamètre et de même gueur, l'un de platine, l'autre d'argent.

Pendant que Children observait sur une si grande phénomènes d'ignition voltaïque, Wollaston réussissait à un fil de platine très-fin de $\frac{1}{100}$ de millimètre de diamètre moyen d'un seul petit couple zinc et cuivre de 7 cen carrés de surface.

Les métaux et les corps solides conducteurs ne sont seuls qui s'échauffent par l'effet du passage du courant trique. Les liquides éprouvent également une élévation de pérature considérable; c'est ce que Davy avait déjà dans ses expériences sur la décomposition de l'eau et des lutions salines, par l'électricité dynamique. Ayant mis circuit d'une batterie de cent paires à petites surfaces cônes d'or, remplis d'eau distillée et communiquant mèche d'asbeste, il plaça un thermomètre dans chacun cônes, puis ajouta à l'eau du cône positif une goutte de de sulfate de potasse; la décomposition commença et fut d'une élévation de température qui devint suffisante entrer l'eau en ébullition en moins de deux minutes. A solution de nitrate d'ammoniaque, la chaleur dégagée tellement qu'elle évapora entièrement l'eau en trois ou minutes. Oersted observa plus tard que dans une colonne traversée par le courant, l'élévation de température considérable au pôle positif (20°,5) qu'au négatif (18°), c'est au milieu qu'elle est le plus forte (23°). J'étais même résultat qu'Oersted, mais en même temps j'avais que l'on peut considérablement augmenter le dévelop

[1] On sait que Wollaston se procurait ces fils si fins en logeant dans l' cylindre d'argent un fil fin de platine, et en tirant à la filière le cylindre aussi fin que possible. On en prend ensuite un bout qu'on recourbe en d'U; puis on plonge le fil, sauf ses deux extrémités, pendant quelques dans l'acide nitrique; l'argent se dissout, et il ne reste que le platine nesse extrême. Les bouts de ce fil, qui ont conservé leur enveloppe d'ar vent à le rendre ostensible et tangible.

de la chaleur dans l'intérieur d'une masse liquide placée entre les deux pôles d'une pile, en la divisant en plusieurs compartiments par des diaphragmes poreux faits de vessie ou de baudruche. On trouve que la température est plus élevée dans les compartiments du milieu que dans ceux des extrémités et que dans chaque compartiment elle l'est de 2° de plus environ dans la portion du liquide en contact avec le diaphragme de vessie que dans le reste. Si l'on fait passer le même courant successivement au travers d'un liquide contenu dans un tube de verre d'un certain diamètre et d'une certaine longueur et au travers d'une mèche de coton de même longueur et de même diamètre que le tube, on voit la température du liquide contenu dans le tube rester stationnaire, tandis que celle de la mèche de coton s'élève considérablement, ce qui provient de ce que les cellules du coton dans lesquelles le liquide est logé forment autant de petites loges séparées les unes des autres par des diaphragmes que l'électricité est obligée de traverser. Par la même raison, une tige de plante grasse qui est un conducteur liquide séparé en une multitude de petites cellules par des diaphragmes non métalliques, se réchauffe jusqu'au point que l'eau qu'elle renferme entre en ébullition, quand on la met, au moyen de deux pointes de platine, dans le circuit d'une pile un peu forte. C'est toujours au moyen de fils ou de petites lames de platine que les liquides sont mis dans le circuit voltaïque, afin de ne pas compliquer les résultats par l'action chimique exercée sur les surfaces des électrodes par les dissolutions dans lesquelles ils sont immergés.

Les liquides différents placés sur la route du même courant présentent le même phénomène que les conducteurs métalliques, savoir : que ce sont les moins conducteurs qui s'échauffent le plus. En disposant dans le même circuit voltaïque les unes à la suite des autres, plusieurs capsules semblables remplies chacune d'une quantité égale d'eau ou de solutions salines et acides différentes, réunies deux à deux par des arcs de platine, on voit celle où est l'eau pure s'échauffer de 10 à 12° au-dessus de la température ambiante, tandis que les autres se réchauffent à peine. Si on enlève la capsule pleine d'eau, c'est toujours,

parmi les restantes, celle qui contient le liquide le moins c
ducteur qui s'échauffe le plus.

Toutes ces expériences semblent démontrer d'une ma
péremptoire que dans les liquides, comme dans les solides,
développement de la chaleur produit par le passage du cou
électrique provient de la résistance que ce courant renco
puisque là où elle est le plus grande, là aussi l'élévation
température est le plus considérable. Cette loi générale tro
encore sa confirmation dans plusieurs faits d'une autre na
que j'ai eu l'occasion d'observer, et dont je me bornerai à r
porter les plus importants.

La chaleur développée dans des quantités égales de liqu
conducteurs semblables, traversés successivement par le m
courant, est d'autant plus considérable que les électro
présentent, soit par leur dimension, soit par leur nature, p
de résistance au courant, leurs distances restant les mêmes
employant au lieu de courants continus, des courants re
discontinus, au moyen d'un rhéotome ou d'un commuta
placé dans le circuit [1], on obtient une température moins éle
dans celui des liquides où les courants discontinus sont dir
alternativement en sens contraire, que dans celui où ils s
dirigés constamment dans le même sens; or comme nous
verrons dans le chapitre des décompositions électro-chimiq
la transmission de l'électricité éprouve beaucoup moins de
sistance dans le premier cas que dans le second. Pour f
cette expérience, on place à la suite l'un de l'autre deux sy
mes parfaitement semblables de conducteurs liquides, qui s
unis et mis dans le circuit par de petites lames de platine, p
dans le même circuit on met encore un fil fin de platine plo
dans une quantité donnée d'eau, où se trouve la boule d'
thermomètre sensible. On fait passer dans cette succession
conducteurs, pendant le même temps, la même quantité d'é
tricité [2], et on trouve que la somme des quantités de chal

[1] Voyez, pour la description de ces appareils, tome I, page 298 et fig. 12
pages 401, 402, fig. 154.

[2] On s'assure que la même quantité d'électricité a passé dans chaque co

développées dans les deux systèmes liquides et dans le fil de platine est sensiblement la même; que le courant soit continu, qu'il soit discontinu et dirigé constamment dans le même sens dans les deux systèmes, ou enfin qu'il soit discontinu et dirigé dans l'un des systèmes toujours dans le même sens et dans l'autre alternativement en sens contraires. Seulement, dans ce cas, le premier système s'échauffe plus que le second, ainsi que nous l'avons dit, et il y a aussi plus de chaleur développée dans le fil de platine.

Il est assez curieux de voir le système liquide dans lequel, les courants cheminant toujours dans le même sens, il y a un dégagement gazeux, se réchauffer davantage que celui où à cause du sens alternativement contraire des courants il n'y en a pas [1]. Ce résultat semblerait indiquer que la formation des gaz ne diminue pas dans un liquide la quantité de chaleur dégagée par le courant, laquelle ne dépendrait que de la résistance que l'électricité rencontre. Cependant nous avons vu que dans de l'eau décomposée par voie électro-chimique, l'élévation de la température est moindre aux deux pôles où se dégagent les deux gaz oxygène et hydrogène qu'entre deux, et que c'est au pôle négatif où le dégagement du gaz (hydrogène) est le plus considérable qu'elle est le plus faible. Ces différences sembleraient bien démontrer que la formation des gaz n'est pas sans quelque influence, d'autant mieux que, lorsque la colonne d'eau est traversée par des courants discontinus dirigés alternativement en sens contraires, cas où cette formation n'a pas lieu, toutes ces différences disparaissent et la distribution de la température dans le liquide devient parfaitement uniforme. Nous reviendrons sur ce point important quand

plaçant dans le circuit, mais de manière que les courants discontinus le traversent toujours dans le même sens, un voltamètre chimique (tome I, page 33), et en arrêtant l'expérience quand le même volume de gaz a été dégagé.

[1] L'absence de production de gaz n'est qu'apparente. Elle tient à ce que l'oxygène et l'hydrogène, qui proviennent de la décomposition de l'eau, se succédant très-rapidement sur la surface des mêmes électrodes, à cause du sens alternativement contraire des courants, il y a recomposition de l'eau en même temps que décomposition.

nous aurons étudié les effets chimiques de l'électricité dy mique.

Après cette revue rapide des principaux résultats obt par les physiciens qui se sont occupés des effets calorifiques détermine l'électricité dynamique par son passage à travers bons conducteurs, il nous reste à exposer les lois plus préc que des recherches rigoureuses ont permis d'établir.

§ 3. Lois qui régissent les effets calorifiques des décharg dans les bons conducteurs.

Pour étudier de plus près les effets calorifiques des déch Harris et Riess ont fait l'un et l'autre usage d'un therm à air dont la boule est traversée par un fil de métal qu transmettant la décharge, se réchauffe d'une quantité que m le mouvement de l'index thermométrique. Cet appareil, nous avons décrit dans la première partie de cet ouvr exige pour pouvoir fournir des résultats exacts et compar beaucoup de soin dans sa construction, et c'est probabl à l'imperfection de celui dont Harris faisait usage, qu'il attribuer l'inexactitude de quelques-unes des conséquences a tirées de ses expériences. Harris, en effet, avait cru po établir que l'effet calorifique d'une décharge électrique op travers des fils métalliques ne dépend que de la quantité d' tricité, et par conséquent est le même, quelle que soit la te de l'électricité dans la batterie, pourvu que la quantité reste la même; loi qui n'est pas exacte, ainsi que Riess l'a montré. D'un autre côté, Harris était parvenu à mesurer exactement le rapport qui existe entre la quantité de ch dégagée par un fil et sa résistance électrique, par l'effet transmission d'une même quantité d'électricité. Voici le tab qu'il avait donné de ces rapports :

[1] Tome I, page 31, figure 20.

Métaux.	Échauffement.	Résistance.
Argent.	6	1
Cuivre.	6	1
Or.	9	1 ½
Zinc.	18	3
Platine.	30	5
Fer.	30	5
Étain.	36	6
Plomb.	72	12

Il résulte, comme on le voit, de ce tableau que le réchauffement est exactement proportionnel à la résistance ou, ce qui revient au même, inverse de la conductibilité électrique.

Riess, par un soin tout particulier apporté à la construction de son thermomètre électrique et par le nombre considérable comme par l'exactitude scrupuleuse de ses expériences, est parvenu à établir avec une précision remarquable les lois des phénomènes qui nous occupent. En énonçant ces lois, nous allons chercher à exposer les procédés qu'a suivis l'habile physicien pour y parvenir, tout en regrettant que les limites qui nous sont imposées ne nous permettent pas d'entrer dans autant de détails que nous l'aurions voulu.

Le thermomètre électrique se compose d'un tube de verre de 45 centimètres de longueur recourbé à angle droit à ses deux extrémités, dont l'une est terminée par un ballon de verre de 9 ½ centimètres de diamètre et l'autre par un vase cylindrique de 7 centimètres sur 1 ½ centimètre de diamètre (fig. 195). Le tube muni d'une échelle divisée arbitrairement est fixé sur une planchette de bois attachée par des charnières à un plateau horizontal, de manière à pouvoir être incliné à volonté sur l'horizon et à être assujetti dans la position qu'on lui donne à l'aide d'un arc de métal divisé et d'une vis de pression. On verse dans le vase cylindrique de l'acide sulfurique coloré étendu avec de l'alcool. Le ballon du thermomètre est perforé en trois places dont deux sont diamétralement opposées. Des douilles de métal mastiquées sur ces deux ouvertures se ferment hermétiquement par des couvercles qu'on y visse. La troisième ouverture est munie d'une pièce de métal perforée qui est fermée au

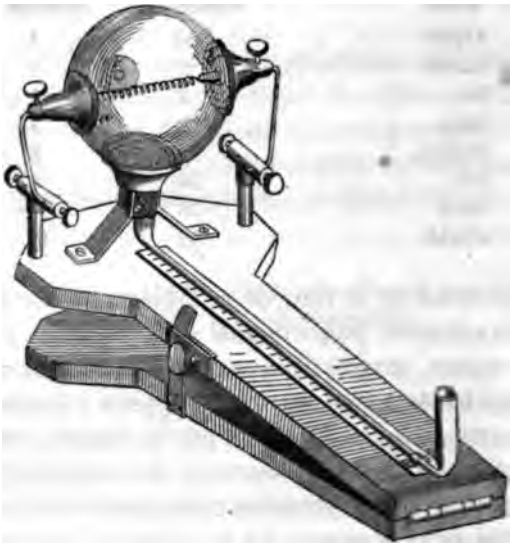


Fig. 495.

moyen d'un bouchon métallique; elle sert à laisser entrer le tube une colonne liquide de la longueur voulue. Dan deux douilles entrent sans frottement deux cylindres de 7 timètres environ de longueur sur 5 millimètres de dian munis à leur extrémité extérieure d'un écrou. A leur extr intérieure se trouve un cône qui est fixé au moyen d'un la base de chacun des deux cônes est incisée, et c'est dan fentes qu'on introduit par ses deux extrémités le fil de pl dont on veut déterminer l'échauffement. Une tige de n qu'on passe aisément à travers le ballon, sert à introduire de platine qu'elle entraîne; après qu'on l'a enlevée, on te fil au moyen des écrous. De gros fils de laiton mettent le circuit de la batterie les couvercles des douilles et de platine; celui-ci en s'échauffant par la décharge dilat du ballon et chasse le liquide du tube dans le réservoir. strument est d'autant plus sensible que, à conditions é l'inclinaison du tube vers l'horizon est plus grande. l'appréciation de l'échauffement du fil, on néglige le r dissement de l'air causé par les parois du ballon pend

en général très-court, de l'abaissement du liquide; on : cependant la surface de la boule d'une enveloppe très- le gutta-percha recouverte d'une lame d'étain, afin de r les variations de température qui pourraient provenir es extérieures. Maintenant on conclut, au moyen d'une : fondée sur les lois de la chaleur, l'accroissement de ature qu'a éprouvé le fil, de l'espace parcouru par le évalué en divisions linéaires (lignes ou millimètres) [1]. ıvoir fini une expérience on ouvre le ballon et on laisse refroidir; puis on remet le bouchon de métal douce- sa place. Si le refroidissement a été complet, le liquide, ètre descendu dans le tube d'une certaine quantité, ; sinon il recommence à monter. Il faut observer qu'on pas choisir les températures initiales trop différentes les es autres dans les expériences qu'on veut comparer les; car l'échauffement du fil de platine dépend, dans taine mesure, de sa température primitive et on ne peut r compte, ce qui fait ıt important que cette ature soit toujours à peu même. Dans les expé- de Riess, elle était de 15° l.

établir le rapport qui ntre la force d'une dé- et son effet calorifique, il ıbord avoir un moyen urer la quantité d'élec- dont une batterie est . On se sert pour cela ɔuteille électrométrique 6) qui est une bouteille le, dont la tige métalli- i communique avec l'ar-

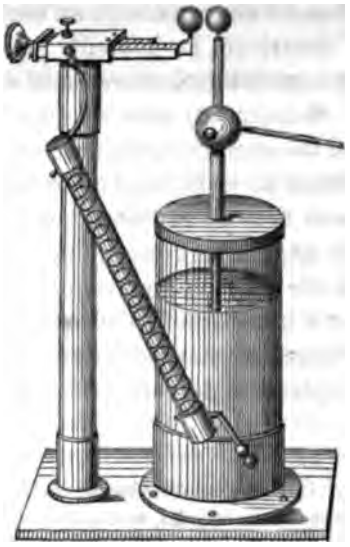


Fig. 196.

1, pour l'établissement de cette formule et son application à quelques te finale D.

mure intérieure, est munie de deux boules, l'une,
rieure, destinée à être mise en communication avec l'
extérieure de la batterie qu'on a soin d'isoler, l'autre, l
rieure, placée vis-à-vis d'une boule parfaitement sem
située à la même hauteur, et fixée à une tige qu'on pe
mouvoir au moyen d'une vis micrométrique, de faç
les deux boules puissent être rapprochées l'une de
d'une distance mesurable avec une grande précisio
dernière boule, étant isolée, est mise en communicati
l'armure extérieure de la bouteille, au moyen d'u
platine d'un peu plus d'un mètre de longueur, et
mill. de diamètre, contourné autour d'un tube,
rendre moins vives les décharges qui ont lieu entre
boules[1], et de diminuer ainsi les altérations qu'épro
surface qui doit être bien polie. Il est, en effet, nécess
ces boules, qui sont de cuivre, soient bien rondes et bie
afin que la décharge entre l'armure extérieure et l'ar
térieure de la bouteille ait toujours lieu avec la même
d'électricité. La bouteille repose sur un pied métalliq
la communication avec le sol est établie aussi bien que

Maintenant, pour se servir de la bouteille électro
on fait communiquer avec son armure intérieure l'arm
rieure de la batterie qui a été isolée avec soin; l'élect
cette armure extérieure, qui est chassée dans la bout
de même nom que celle dont on charge la batterie ell
et elle lui est proportionnelle[2], de sorte qu'en mesur
on a la mesure de l'autre. Or, dès que la bouteille él
trique est chargée d'une quantité déterminée d'élect
s'opère une décharge entre les deux boules; le nomb

[1] Il ne faut pas employer un fil plus long et plus mince, car les dé
doivent être comptées, ne seraient pas assez fortes ni assez distinctes.

[2] La méthode repose sur le principe des électricités condensé
page 582); savoir que si la quantité 1 d'électricité, arrivant à la bat
veloppant m dans l'armure extérieure, donne lieu à une décharge de
électrométrique, u décharges provenant de $u\,m$ électricité dans l'ar
rieure, correspondent à la quantité u d'électricité arrivant à la batte

; sert donc de mesure à la quantité d'électricité intro-
s la batterie. Pour que ces décharges correspondent à
ités égales d'électricité, il faut que la communication
mure extérieure de la batterie et l'armure intérieure
teille soit bien établie et continue, et que la rotation
ı de verre de la machine électrique, qui charge la bat-
lieu avec une vitesse aussi uniforme que possible. Il
avoir soin de rapprocher assez les deux boules de la
électrométrique pour que les décharges aient lieu
quantités peu considérables d'électricité, ce qui rend
e l'application du principe qui sert de base à ce moyen
:. La grandeur q, qui exprime la quantité d'électricité
atterie est chargée, a donc pour unité la quantité
té qui, conduite dans la batterie, produit une décharge
ıteille électrométrique, mais comme cette unité est
: quand on place, par exemple, les deux boules de
lle à 1 millimètre de distance l'une de l'autre, on
ır unité la quantité d'électricité qui correspond à *deux*
;.

a *quantité* d'électricité, il importe de connaître sa *den-*
elle dépend de l'étendue s de l'armure intérieure de la
ou, ce qui revint au même, du nombre des bouteilles
ıt la batterie est composée. Pour une même quantité
ıté, cette densité est inverse de cette étendue ou de ce
de sorte qu'on peut l'exprimer par la fraction $\frac{q}{s}$. La
ut être déterminée directement au moyen d'un élec-
à poids (fig. 197) formé d'une tige de verre longue de
ètres, munie à son centre d'un ajustage à deux pi-
reposent sur deux plans d'agate comme le fléau d'une
A l'une des extrémités de cette tige est fixé le bassin
ance, à l'autre une boule métallique creuse de 17 mil-
le diamètre. Le fléau doit avoir naturellement une di-
orizontale; il est placé de façon que la boule qui le
oit immédiatement au-dessous d'une boule un peu
ide qui communique au moyen d'un bon conducteur
mure intérieu la batterie, et qu'elle soit même en

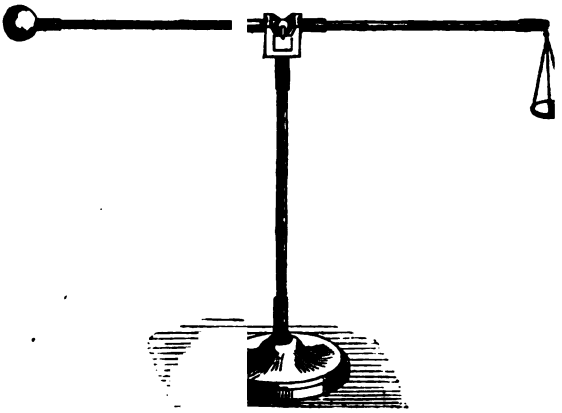


Fig. 197.

contact avec elle. On met dans le bassin un poids p et o
la batterie jusqu'à ce que la boule fixe repousse celle de l
mètre à poids qui était en contact avec elle. Le nombr
charges de la bouteille électrométrique indique quelle
quantité d'électricité nécessaire pour opérer cette répu
par conséquent pour faire équilibre au poids p. Mais l'
pulsif est proportionnel au produit des réactions ou des
électriques des deux boules, qui sont les mêmes, c'est
pour chacune; on a donc : $p = a\left(\frac{q}{s}\right)^2$, a étant une quan
stante; d'où l'on tire $q = s\,b\sqrt{p}$, b étant une constante
$\frac{1}{\sqrt{a}}$. On trouve, en prenant la moyenne de toutes les
calculées, $b = 2{,}236$. Puis, comparant les valeurs de q c
par cette formule avec ses valeurs observées, on les tro
faitement concordantes; ce qui prouve que la densité
exactement exprimée en la faisant égale à $\frac{q}{s}$. Ce même
mètre à poids peut servir d'appareil de décharge avec
gère modification dans sa construction, qui consiste à
boule mobile entre deux boules fixes communiquant l'

ire extérieure, l'autre avec l'armure intérieure de la bat-
de façon que la boule mobile, qui est elle-même en com-
ation, au moyen de la tige mobile métallique, avec
ire extérieure, est repoussée par l'une des boules fixes et
par l'autre, jusqu'à la distance nécessaire pour que la
ge ait lieu (fig. 198)[1].

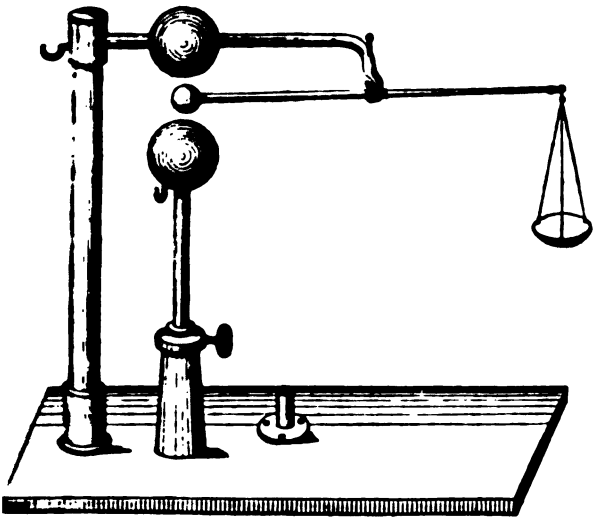


Fig. 198.

ntenant, pour opérer, on dispose la batterie, l'appareil dé-

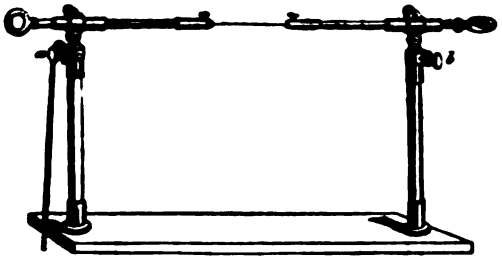


Fig. 199.

eur, la bouteille électrométrique et le thermomètre élec-

s appareils sont, à quelques modifications près, les mêmes que ceux dé-
tome I, pages 114 et 115.

trique de façon que la décharge, dont on mesure la p par la bouteille, traverse le fil du thermomètre. On m ment dans le circuit l'excitateur universel (fig. 199) p voir y intercaler d'autres fils que celui qui est écha le thermomètre. On a compter le nombre de ges de la bouteille élec que, jusqu'au momen est arrivé à la charge terie voulue pour que l geur agisse. Il vaut mi des expériences très-dé servir d'un déchargeur qu'on fait agir directem rant un cordon de soi au bras du levier, qu chargé la batterie de la d'électricité nécessaire

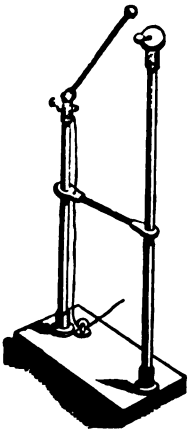


Fig. 200.

Les expériences furent faites avec une batterie dont l des bouteilles varia de 2 à 25, chaque bouteille ayant envi cimètres carrés (1 p $\frac{1}{2}$ carré) de surface. La quantité d'élect cumulée dans la batterie fut accusée par le nombre des d'une bouteille électrométrique, dont les boules étaie ligne de distance l'une de l'autre. Les nombres donn thermomètre électrique sont parfaitement d'accord avec

donnerait la formule $T = b\frac{q^2}{s}$, dans laquelle T expri

vation de température éprouvée par le fil du thermom quantité d'électricité, s la surface de la batterie et b stante qui dépend du thermomètre électrique. De là o la loi que *l'élévation de la température qu'éprouve un lique placé dans le circuit de la décharge d'une batterie e tionnelle au produit de la quantité d'électricité par l*

$= q \times \frac{q}{s}$; ou, ce qui revient au même, *au carré de la d'électricité accumulée dans la batterie, divisé par l'éten batterie.*

lenant il s'agit de déterminer l'influence des dimensions ur son réchauffement, le circuit de la batterie restant t. Dans ce but, des fils de platine de différentes lon- tournés en hélice, sont successivement introduits dans du thermomètre électrique, et on emploie une batterie e de 5 des bouteilles de 16 décimètres carrés de surface. e, par une nombreuse série d'expériences, le réchauf- le chaque fil correspondant à différentes valeurs de q, n déduit la valeur de ce réchauffement pour $q = 1$. Voici le tableau de cette valeur pour les différentes rs de fil :

Longueur du fil.	Réchauffement du fil.
278 millimètres.	0.238
216	0.228
151	0.239
95	0.237

ulte de là que le réchauffement qu'un fil de platine par la décharge électrique est indépendant de sa lon- Pour arriver à ce résultat, il faut avoir soin d'intercaler circuit, quand on opère avec les fils plus courts que le , un fil semblable mais d'une longueur telle que la des deux fils placés en même temps dans le circuit soit s la même. De cette manière, il n'y a point de différence résistance que rencontre la décharge, ni dans sa durée, aque expérience ; si on ne prend pas cette précaution, le s long s'échauffe un peu moins, parce qu'il opère sur s de la décharge un retard plus grand que celui qui ré- l'interposition du fil court, à moins qu'en même temps compense la différence par le moyen que nous venons ser. Il en est de même pour la détermination de la loi à l'influence des diamètres des fils ; il faut, dans ce cas, vec deux fils de diamètre différents, dont on met un thermomètre et l'autre quelque part dans le circuit ; près quelques expériences faites ainsi, on change de place x fils et on fait de nouvelles expériences. La résistance uit demeure ainsi la même dans chaque série d'expé-

riences, ce qui fait que le temps de la décharge est
pour chacun des fils dont on veut connaître le réchau
On trouve de cette manière en comparant les fils deux

Rayon du fil en lignes [1].	Réchauffement.
0. 029690	0°. 1588
0. 023012	0 . 3196
0. 058304	0 . 0592
0. 036170	0°. 3775

Si l'on compare les valeurs des réchauffements av
des rayons, on trouve qu'elles sont inverses des qu
puissances des rayons. Cette loi donnerait, en effet, po
chauffement du premier fils calculé d'après celui du
0,155 au lieu de 0,158, et pour celui du troisième cal
près celui du quatrième, 0,0589 au lieu de 0,0592 [2]. I
rences entre le résultat du calcul et celui des observati
tout à fait négligeables dans des expériences pareilles.
donc regarder comme bien établie la loi suivante : (
même quantité d'électricité, complétement déchargée dan
intervalle de temps, traverse des fils de même nature, ma
mensions différentes, chaque fil éprouve une élévation d
rature indépendante de sa longueur et proportionnelle à
trième puissance de son rayon.

Cette loi nous prouve d'abord que chaque fil reçoit
même décharge, une quantité de chaleur proportionn
longueur, ou, en d'autres termes, que chacun de ses p
également échauffé, ce qui d'avance devrait paraître
blable, puisqu'il y a toujours dans le circuit un fil d'
gueur constante, dont seulement une proportion plus o
considérable est renfermée dans la boule du thermomè
trique, lequel s'échauffe en raison de la longueur de ce
tion. La loi nous montre en second lieu que le fil reçoi
décharge, une quantité de chaleur qui est en raison in

[1] Ces rayons ont été déterminés avec beaucoup de soin, sous un
composé, d'un grossissement de 190, à l'aide d'un micromètre à vis qui
dix-millième partie d'un pouce.

[2] Ces calculs ont été faits au moyen des logarithmes.

son rayon, ce qui est une preuve que l'influence de sa
' ne consiste pas seulement en ce que la masse du fil
fer étant plus considérable, il doit en résulter, pour lui,
pérature moindre, mais en ce que, par l'effet de son
nd diamètre, l'électricité en le traversant y dépose une
absolue de chaleur moins grande ; les deux influences
nt chacune séparément du volume du fil, leur action
e doit être proportionnelle au carré de la section ou à
ème puissance du diamètre.
a loi que nous venons d'énoncer, la quantité d'électri-
mise est toujours la même dans le même temps ; main-
s'agit de déterminer l'influence qu'exercent sur le ré-
ent d'un fil invariable une différence dans cette quan-
ce qui revient au même, les dimensions variables d'un
placé dans le même circuit, dont on fait varier la lon-
le diamètre ; l'expérience démontre que le réchauffe-
fil invariable est inverse de la longueur du fil ajouté
tionnel au carré de son rayon : or, c'est exactement la
égit la conductibilité électrique du fil ; d'où on doit
que le réchauffement du fil invariable est inverse de la
e que rencontre la décharge, ou réciproquement propor-
sa durée. Cette dernière conséquence résulte de l'ob-
qui démontre que, plus on augmente la résistance que
e la décharge en introduisant dans son circuit, soit un
ng, soit un tube rempli d'eau ou un petit cylindre de
illé, moins le fil s'échauffe ; il finit même par ne plus
er du tout, et une très-grande quantité d'électricité
traverser sans affecter en rien le liquide indicateur
nomètre. Mais alors la décharge n'est plus instanta-
dure un intervalle de temps appréciable ; et si l'on
que le retard qu'elle éprouve soit proportionnel à la
e du conducteur intercalé, et, par conséquent, dans le
fil métallique homogène, à sa longueur, on trouve
aleurs du réchauffement, calculées d'après une formule
r cette supposition, sont parfaitement d'accord avec les
observées. Le même accord existe entre le calcul et
tion, quand on intercale des fils dont le diamètre et

non la longueur est variable, si, du moins, l'on admet que retard est inverse du carré du rayon, ce qui permet d'énon la loi comme suit :

Le réchauffement d'un fil par la décharge électrique est réci quement proportionnel à la durée de la décharge, le retard qu décharge éprouve par l'insertion d'un fil dans le circuit étant même en raison directe de la longueur du fil et en raison inv du carré de son rayon.

En réunissant toutes les lois que nous venons d'établir est conduit à celle-ci plus générale :

L'élévation de température de la section normale d'un homogène inséré dans le circuit d'une batterie est en raison verse de la quatrième puissance de son rayon, et en raison di de la quantité d'électricité accumulée, divisée par le temps décharge : $T = \frac{a}{r^4} \times \frac{q}{z}$, a étant une constante qui dépen la nature du fil, r le rayon du fil, q la quantité d'électri et z le temps de la décharge[1]. On voit que la longueur d

[1] Quand on introduit dans le thermomètre électrique un fil très-fin, et augmente graduellement la charge de la batterie en diminuant en même le nombre des bouteilles, on remarque, lors même que la quantité totale d tricité ne change pas, que le réchauffement du fil va en croissant, et qu lui-même éprouve des inflexions et finit par être tout bosselé, déformation ne peut faire disparaître que par l'incandescence et la politure. Cet accroi d'effet produit par la même quantité d'électricité d'une densité croissante, vrai, ne peut être attribué qu'à une augmentation dans la rapidité de la déc et la supposition la plus simple est d'admettre que le temps de la décha inversement proportionnel à la densité de l'électricité. En appelant y l sité déterminée par la balance de tension de l'électromètre à poids, si la tité 1 d'électricité est déchargée dans le temps $\frac{1}{y}$, la quantité q le sera d temps $\frac{q}{y}$; par conséquent z, le temps de décharge de la batterie est p tionnel à $\frac{q}{y}$. Mais nous avons vu que y la densité est égal à $\frac{q}{s}$; donc z sera égal à $q \times \frac{s}{q} = s$. D'où il résulte que dans la formule $T = b\frac{q^2}{s}$ remplacer s par z, et mettre $T = b\frac{q^2}{z}$.

ntre ni dans la loi ni dans la formule, ce qui est une consé-
nce de la loi relative à la longueur que nous avons établie
s haut, puisque, comme nous l'avons remarqué, l'influence
a longueur ne se fait sentir que sur la durée de la décharge
t : est l'expression. La formule qui donne la valeur z ren-
ne la longueur du fil intercalé dans le circuit, mais cette
mule un peu compliquée ne donne pas pour z une valeur
le quand la longueur du fil devient nulle. Cette conséquence,
rre au premier coup d'œil, s'explique cependant quand on
ge que le circuit ne se compose pas seulement de fils, mais
si des points d'attache de ces fils qui subsistent toujours, de
e que le temps donné par la formule, quand le fil est réduit à
longueur nulle, est celui dont la décharge a besoin pour tra-
er les parties invariables de l'appareil et les pièces de jonction
les lient ensemble; c'est ce temps-là qui est pris pour unité.
'échauffement d'un fil est aussi influencé par des interrup-
s dans le circuit, telles que celles qui résultent de l'interpo-
n d'une couche d'air, d'une feuille plus ou moins épaisse de
on, d'une lame de verre ou de mica entre les deux extrémi-
le l'excitateur entre lesquelles la décharge doit passer; et
expériences conduisent au résultat suivant : *la décharge
rique échauffe le fil qu'elle traverse d'autant moins que l'é-
icité doit franchir un plus grand obstacle avant que la dé-
ge parte*. Il ne s'agit pas ici d'un obstacle qui retarde la
arge continuellement, ce que ferait un mauvais conducteur,
s d'un obstacle qui, tant qu'il n'est pas surmonté, rend im-
ible toute transmission d'électricité. Or, comme le réchauf-
ent dépend à la fois de la quantité de l'électricité et de sa
se, et que la quantité n'est pas diminuée sensiblement par
présence de l'obstacle, il faut en conclure que l'obstacle,
iqu'il soit franchi, augmente la durée de la décharge.

Enfin, une circonstance importante à laquelle il faut avoir
rd dans le réchauffement d'un fil par la décharge, c'est l'in-
nce des courants d'induction qui peuvent être développés
s des conducteurs rapprochés de ceux que parcourt la dé-
rge. Riess a fait également une étude très-détaillée de cette
uence, en plaçant dans le circuit un fil conjonctif roulé en

spirale, et près de cette spirale un autre fil indépendant de la batterie, roulé également en spirale, ou simplement une lame mince d'étain interposée entre deux plaques de verre. L'effet de ce conducteur extérieur sur la puissance calorifique de la décharge ne se fait sentir qu'autant que sa conductibilité est inférieure à celle du fil conjonctif, et l'expérience montre qu'alors *la décharge est d'autant plus retardée, et par conséquent le chauffement du fil thermométrique d'autant moindre, que la conductibilité du circuit extérieur est moindre.* Cependant la diminution du réchauffement dans le circuit principal, qui résulte de l'augmentation de résistance que présente le circuit secondaire fermé, a une limite à laquelle on parvient en augmentant la longueur d'un fil d'argentane, par exemple, qui fait partie de ce circuit. Les deux spirales semblables, formées toutes deux d'un fil de cuivre de 1^{mm}, 5 de diamètre et de centimètres de longueur, dont l'une fait partie du circuit principal, l'autre du circuit secondaire, sont placées à 2 millimètres de distance l'une de l'autre; le fil d'argentane qui réunit les deux extrémités de cette seconde spirale a une longueur de 9 mètres 50 centimètres; le réchauffement éprouve une diminution de 52 pour cent; c'est le maximum de la diminution. Pour des longueurs plus considérables, le réchauffement se rapproche de ce qu'il était primitivement, et quand le fil d'argentane est long de 190 mètres environ, la diminution du réchauffement n'est plus que de 13 pour cent. La diminution du réchauffement ne dépend pas seulement de la conductibilité du circuit secondaire, elle est aussi très-influencée par celle du circuit principal, et en particulier par la résistance qu'offre au passage de l'électricité, à cause de sa ténacité, le fil de platine du thermomètre. Ainsi, si l'on fait passer la décharge par un fil de platine moins long et plus gros que l'on place dans l'axe de l'hélice d'un thermomètre de Bréguet, on trouve, au moyen des indications de ce thermomètre, que la diminution d'échauffement peut s'élever sous l'influence du circuit secondaire à 86 pour cent de l'effet primitif qu'on obtenait quand le circuit secondaire n'existait pas ou n'était pas fermé.

Dans toutes ces expériences, le circuit secondaire n'agit que

ence de sa faculté conductrice, car on obtient exacte-
; mêmes effets en remplaçant le fil d'argentane par un de
qui oppose le même obstacle au passage de l'électricité.
its qui précèdent confirment ce que nous avons dit sur
de la décharge. En effet, le courant produit par induc-
s le fil secondaire, quoiqu'un peu en retard par rapport
nencement de la décharge, réagit néanmoins sur une
e cette décharge, en retarde le mouvement et en dimi-
conséquent le pouvoir échauffant. La prolongation du
le double effet, en premier lieu, de ralentir le courant
t d'augmenter par là sa réaction sur le fil principal; en
ieu, d'affaiblir ce courant et de diminuer au contraire
me réaction. D'abord le premier effet prédomine, et l'on
menter la réaction, mais bientôt le courant secondaire
t tellement que son influence disparaît de plus en plus,
devenir nulle pour une certaine longueur qui équivaut
terruption complète du circuit. Au reste, nous n'insis-
as davantage sur ce point particulier, qui est lié aux
s des courants induits, sujet que nous avons déjà traité
[1], et sur lequel nous ne sommes revenu ici que parce
us montre sous une autre forme l'influence remar-
le la durée ou de la vitesse de transmission de l'électri-
sa puissance calorifique.

nous ne nous étendrons pas non plus sur une classe
omènes, qui montrent sous une autre forme l'influence
iable qu'exercent sur le réchauffement la densité et la
s décharges. Il s'agit des effets calorifiques qu'on ob-
ec les batteries de Franklin, lesquelles sont formées
rie de bouteilles de Leyde mises en communication les
c les autres, de façon que le bouton de la première
nique avec le conducteur de la machique électrique,
on de la suivante avec l'armure extérieure de la pre-
t ainsi de suite [2]. Le réchauffement du fil produit par
arge d'une semblable batterie a conduit Riess, à la

1, pages 406 et suivantes.
tome 1, p. 112, figure 58.

suite d'un grand nombre d'expériences, à des résultats marquables sur la densité que possède l'électricité dans les verses bouteilles dont elle se compose, et sur l'influence de densité[1].

Après avoir exposé les lois générales qui régissent le réc fement opéré par les décharges dans les bons conducte nous reste à examiner quelle est l'influence sur ce réch ment de la nature particulière de ces conducteurs, qui sont nos expériences des fils métalliques. C'est encore à Ric nous devons d'avoir, par ses expériences aussi nombreus précises, déterminé cette influence. Cette détermination faite pour chaque fil au moyen de deux expériences : l'une, le fil soumis à l'épreuve, par exemple un fil de pl était placé dans le circuit de la décharge où se trouvait fil de platine du thermomètre électrique; dans l'autre, le plomb était dans le thermomètre, et le fil de platine du momètre dans le circuit. De là, il était facile de déduir moyen des lois déjà établies et en tenant compte du dia des deux fils, le réchauffement du fil de plomb relativem celui du fil de platine; on opérait de même pour chacu autres, et on arrivait au tableau suivant :

MÉTAUX.	FORCE DE RALENTISSEMENT.	POUVOIR DE RÉCHAUFFEMENT.	QUANTITÉS de CHALEUR DÉGAG
Argent.	0.1043	0.1267	0.1120
Cuivre.	0 1552	0.1133	0 1447
Or.	0.1746	0,2112	0.1847
Cadmium.	0.4047		
Laiton.	0.5602	0.3861	0.5616
Palladium.	0.8535		
Fer.	0.8789	0.7080	0,9148
Platine.	1.0000	1.0000	1.000
Étain.	1.053	1.570	0,8917
Nickel.	1.180	0.8727	1.182
Plomb.	1.503	2.876	1.455

[1] Voyez la note finale D, pour les détails relatifs aux lois du réchauffem fils par les décharges électriques.

araison qu'on peut faire entre les deux espèces de
renferment pour un même métal les deux pre-
nnes de la table ci-dessus montre qu'il n'y a pas de
ect entre elles. Mais on arrive à un résultat plus satis-
ransformant les nombres de la seconde colonne, qui
les élévations relatives de température, en quantités
chaleur. Pour cela, il faut multiplier chacune de ces
la chaleur spécifique et la densité du métal auquel
orte, et diviser le produit par le produit de la cha-
que et de la densité du platine, qui est toujours pris
On obtient ainsi les quantités de chaleur relatives
arge électrique développe dans chaque métal, celle
eloppée dans le platine étant prise pour unité; la
olonne de la table ci-dessus renferme ces valeurs.
elles diffèrent très-peu des nombres qui expriment
ralentissement, de sorte que cette force, et la quan-
eur développée dans un métal, peuvent être regar-
proportionnelles l'une à l'autre, et que, lorsqu'on
pour un métal la première de ces deux valeurs, ce
jours facile, on peut facilement en déduire la se-
ar conséquent le pouvoir de réchauffement des mé-
la règle générale :
e le pouvoir relatif de réchauffement électrique d'un
isant sa force de ralentissement électrique par sa cha-
ue et par sa densité.
de la combinaison de toutes ces diverses lois,
exprimer par une formule générale la quantité
dégagée dans chacun des fils métalliques qui, liés
it, composent une chaîne à travers laquelle passe
électrique. Cette formule conduit au principe sui-

fils métalliques quelconques liés à la suite les uns des
ui servent en même temps à décharger une batterie
l se dégage des quantités de chaleur qui sont exactement
elles aux ralentissements que chacun de ces fils pris
produirait sur une décharge électrique quelconque. Ce
néral, et la formule qui y a conduit, s'appliquent

également au cas le plus simple, celui d'un seul fil mis d circuit, et on obtient ainsi la quantité de chaleur dégagé ce fil.

Si les fils métalliques qu'on met successivement les un les autres dans le circuit de la batterie sont de même dia et qu'on leur donne des longueurs qui soient en raison i de leur force de ralentissement, la formule indique la quantité de chaleur pour chacun d'eux, pourvu que l'a lation d'électricité dans la batterie soit la même. Ainsi, sons que l'on décharge successivement une batterie éle avec des fils de même diamètre et de nature différente, d longueurs soient, pour chaque métal, inverses de sa f ralentissement, et représentées, par conséquent, par le bres du tableau ci-joint : savoir, par exemple, 148, 7 pour le fil d'argent, 88, 8 pour le fil d'or, 15, 5 pour l platine; on trouvera, il est vrai, que tous ces fils éprouv l'effet de la décharge, des élévations de température tr rentes, mais que, si on les suppose entourés de glace p l'expérience, ils en auront fondu, pour revenir à leur rature primitive, exactement la même quantité, c'est-à-d la quantité totale de chaleur dégagée chez chacun d'e été la même; ce qui explique pourquoi leur températ d'autant plus élevée qu'ils sont plus courts.

Table des valeurs inverses de la force de ralentissement, cette force étant du pour le cuivre.

Argent.	148.7
Cuivre.	100
Or.	88.87
Cadmium.	38.35
Laiton.	27.70
Palladium.	18.18
Fer.	17.66
Platine.	15.52
Étain.	14.70
Nickel.	13.15
Plomb.	10.31

1. Lois des effets calorifiques produits par le passage des courants continus à travers de bons conducteurs.

ns résultats obtenus par Riess ont eu le précieux avantage préciser d'une manière rigoureuse cette dépendance qu'on déjà, avant lui, reconnu exister entre les effets calorifiques électricité dynamique d'une part, et la quantité et la vitesse tte électricité d'autre part. C'était en étudiant la puissance gique du courant voltaïq qu'on avait découvert cette pendance, sans cependant en avoir établi exactement les lois. , j'avais déjà montré en 1 0 que la raison pour laquelle pile à grandes surfaces, comp couples nombreux, était lable à une pile formée d'un grand nombre de couples à ces moindres, pour le développement de la chaleur dans fils métalliques placés dans leur circuit, était que le courant le premier cas avait une plus grande vitesse, et qu'il fal- , pour que l'effet calorifique fût à son maximum, que la tance de la pile ne dépassât pas celle du fil placé entre ses s. Plus tard, je fis voir que l'effet calorifique diminuait avec ensité ou la vitesse de l'électricité, dans une proportion coup plus forte que cette intensité ou cette vitesse. Pour , ayant mis l'hélice du thermomètre de Bréguet[1] dans le uit d'une pile de huit couples de zinc et de cuivre, qui ent chacun 0 m 21 carrés de surface, et qui étaient chargés un mélange de 40 parties d'eau, de 2 d'acide sulfurique et me d'acide nitrique, je fis passer le courant à travers une taine étendue d'acide nitrique concentré, placée dans une e prismatique en verre, et qu'on pouvait séparer en deux plusieurs compartiments au moyen de diaphragmes en pla- . Un galvanomètre magnétique à gros fil était également le circuit. Voici les résultats :

[1] Tome I, page 31, fig. 21.

NOMBRE DES DIAPHRAGMES.	GALVANOMÈTRE MAGNÉTIQUE.	VOLTAMÈTRE CALORIFIQUE.
1	85	312°
2	84	170
3	83	115
4	75	12°
5	40	0°
6	37	0°

En interposant dans le circuit un voltamètre chimiq lieu d'un magnétique, on obtient les résultats suivants :

NOMBRE DES DIAPHRAGMES.	VOLTAMÈTRE CHIMIQUE [1].	VOLTAMÈTRE CALORIFIQUE.
0	5″	38°
1	25″	3°

[1] Le nombre de secondes indique pour le voltamètre chimique le temps nécessaire pour obtenir un même volume de gaz ; il est donc inverse du pouvoir chimique du courant.

Ainsi, la réduction de l'effet calorifique à $\frac{1}{15}$ correspo une réduction seulement de $\frac{1}{5}$ de l'effet chimique. En supp donc que, soit l'effet magnétique, soit l'effet chimique, s dans un rapport simple avec l'intensité et la vitesse du cou on voit dans quelle proportion plus forte l'effet calorifiqu minue ou augmente avec cette intensité ou cette vitesse.

Avant d'aller plus loin, observons qu'il y a dans les effet lorifiques de l'électricité dynamique une distinction impor à faire entre le cas des décharges et celui des courants cont Dans le premier, la vitesse ne dépend, pour une même qua d'électricité, que des conducteurs qui forment l'arc de clô de la batterie et de l'étendue de sa surface ; dans le second, dépend en outre de la constitution même de l'appareil pro teur. Et, en effet, quand cet appareil est une pile voltaï

-ci fait partie du circuit traversé par le courant, aussi bien le fil qui s'échauffe et que tous les conducteurs qui font muniquer les deux bouts de ce fil avec les pôles, tandis avec une batterie de bouteilles de Leyde il n'en est plus de me. Une autre différence, qui rend toute comparaison difficile, que la décharge doit être instantanée, tandis que le courant certaine durée, tellement que l'écoulement lent de la même ité d'électricité ne produit point le même effet calorifique cette électricité, au lieu de provenir d'une pile, provient machine électrique ou d'une batterie[1]. Néanmoins, comme allons le voir, quelques-unes des lois qui régissent les mènes calorifiques quand ils sont produits par un courant sont les mêmes que pour le cas où ce sont les décharges leur donnent naissance. C'est ce qui résulte des recherches physiciens, Joule, Lenz et E. Becquerel.

mesure les quantités d'électricité par un galvanomètre gentes qu'il place dans le circuit; puis il transmet le cou- à travers un fil de cuivre qu'il fait passer dans un tube de et contourne ensuite en hélice autour de ce tube, qui est même placé dans un vase contenant une certaine quantité m. Voici maintenant le tableau des résultats :

DÉVIATION du galvanomètre.	QUANTITÉS d'électricité dynamique[1].	RÉCHAUFFEMENT de l'eau dans une demi-heure.	RAPPORTS entre les carrés des quantités d'électricité de la colonne n° 2.
10°	0°.43 Q		
31 ½	0 .92 Q	3°	2.9
55	2 .35 Q	19.4	18.8
57 ½	2 .61 Q	23	23.2
54 ½	2 .73 Q	25	25.4

[1] M. Joule prend pour l'unité de mesure de la quantité d'électricité dynamique, la quantité d'électricité capable de décomposer cent grains d'eau par heure; elle est produite par un courant capable de dévier un galvanomètre de 35°.5. C'est cette unité que M. Joule appelle Q.

[1] Nous reviendrons sur ces différences en nous occupant de l'incandescence des métaux; dans le premier elles seront assez peu sensibles.

L'expérience, prolongée pendant une heure, donna un sultat d'accord avec celui renfermé dans le tableau; ce prouve que la chaleur, dégagée par le courant dans son pa à travers le fil métallique, est bien proportionnelle au carr l'intensité électrique. D'un autre côté, quelques expéri faites avec des fils de diverse nature, savoir un fil de cu un fil de fer et un filet de mercure renfermé dans un tub verre contourné, avaient montré à M. Joule que le même rant transmis à travers deux de ces conducteurs différents, cés à la suite l'un de l'autre, produisait des quantités de leur qui étaient, pour le fil de cuivre comparé au fil de comme 5, 5 : 6, et pour le fil de cuivre comparé au filam mercure, comme 2, 9 : 4, 4. Ces rapports étaient exacte ceux que l'expérience directe montre exister entre les résist électriques des conducteurs employés. D'où l'on peut con la loi générale suivante, que *lorsqu'un courant d'électricit taïque est propagé le long d'un conducteur métallique, le calo dégagé dans un temps donné est proportionnel à la résistanc conducteur multiplié par le carré de l'intensité électrique.*

M. E. Becquerel a perfectionné la méthode de Joule, en te compte du refroidissement qui avait lieu pendant la duré l'expérience, et en employant dans ce but un calorimètre d l'eau duquel plongeait un thermomètre très-sensible et u métallique tourné en spirale qui était traversé par le coura La quantité d'électricité était mesurée ici par la quantité de dégagée par minute dans un voltamètre qu'on ramen 0° et à 0m,76 de pression; on faisait varier cette quantité en duisant le courant par un plus ou moins grand nombre de ples à force constante.

Trois expériences principales ont été faites suivant cette thode : l'une avec un fil de cuivre de 0m,936 de longue de 0mm,45 de diamètre, la seconde avec un fil de platin

[1] Cette méthode, dans laquelle on tient compte de la chaleur perdue refroidissement pendant la durée de l'expérience, est la même que celle d fait usage de La Roche et Bérard pour la détermination de la chaleur spé des gaz.

de longueur et de 0mm,23 de diamètre, et la troisième avec de platine de 0m,85 de longueur et de 0mm,1 de diamètre. n de ces fils était tourné en hélice autour d'un tube de Si l'on divise dans chacune des trois séries d'expériences antités de chaleur mesurées au moyen du calorimètre par é des quantités correspondantes d'électricité, mesurées au ı d'un voltamètre chimique, on a comme quotients mbres très-peu différents les uns des autres pour chacune périences de la même série, nombres dont la moyenne ur la première série, composée de six expériences, 0,0340; la seconde série, composée de cinq expériences, 0,1844, r la troisième, composée de quatre expériences, 3,143. sultats prouvent d'abord que la quantité de chaleur dé- par le passage du courant est proportionnelle au carré quantité d'électricité qui passe; de plus, les trois nom- i-dessus étant l'expression de la quantité de chaleur déga- r le passage d'une même quantité d'électricité, il est fa- : reconnaître qu'ils sont en raison directe de la résistance s trois fils présentent à la transmission du courant. En voici le tableau comparatif des quantités de chaleur dé- s, déduites, soit de l'expérience, soit du calcul basé sur ypothèse :

FILS.	Par EXPÉRIENCE.	Par LE CALCUL.
Fil fin de platine.	3.143	3.143
Fil gros de platine.	0.187	0.177
Fil de cuivre.	0.034	0.038

fin, Lenz est parvenu aux mêmes résultats que Joule et equerel, en plaçant le fil qui est échauffé par le courant de l'esprit de vin, conducteur encore plus imparfait que pure, ce qui fait que l'on est plus sûr qu'aucune partie du nt ne traverse le liquide, et qu'il est, par conséquent, trans- n totalité à travers le fil; certitude qu'on n'a pas avec l'eau.

Dans la figure 201, B représente le bouchon en verre du fl rempli d'esprit de vin ; ce bouchon est percé de deux trous permettent d'introduire deux gros ducteurs métalliques qu'on met en communication avec les pôles d'une et dont on réunit les extrémités intéri par le fil fin tourné en hélice qui doit chauffé par le courant. Un galvanom tangentes et un rhéostat introduits le circuit servent à mesurer le cour à en réduire la force au taux voulu chaque expérience. Le tableau suivant ferme les résultats de seize expéri faites avec trois fils d'argentane d'épaisseurs différentes, des fils de platine, de fer et de cuivre.

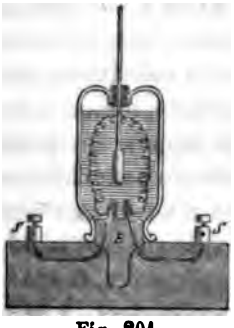


Fig. 201.

NATURE des FILS.	FORCE du COURANT.	TEMPS de l'échauffement de 1° de l'esprit de vin.	RÉSISTANCE à la conductibilité du
Argentane n° 1.	6.93	1.349	93.50
«	10.53	0.571	93.63
«	14.30	0.300	93.94
Argentane n° 2.	10.53	0.920	58.76
«	14.30	0.481	58.64
«	18.32	0.288	59.01
«	14.30	0.457	60.16
Argentane n° 3.	18.32	0.384	44.59
Platine.	14.30	0.555	50.45
«	18.32	0.325	51.41
Fer.	22.69	0.435	24.92
Cuivre.	18.32	1.301	13.90
«	22.69	0.385	13.90
«	27.52	0.575	13.92
«	32.98	0.381	14.01
«	27.52	0.544	14.31

On voit, d'après ce tableau, que pour chaque fil la résis à la conductibilité augmente légèrement avec la force du rant, ou plutôt avec son réchauffement, ce qui doit être, pu

ion de la température diminue la conductibilité électrique taux.

t facile de déduire des nombres contenus dans le tableau us les différentes lois du réchauffement des fils par le t électrique. D'abord, on voit que le temps t, employé ux fils différents traversés par le même courant, pour ffer de 1° la même quantité d'esprit de vin, est inverse de tance l à la conductibilité de ces deux fils, et par con- t que le réchauffement lui-même est proportionnel à cette nce. En effet, on a $t \times l$ constant dans toutes les expé- s faites avec un courant de même force. Voici les valeurs roduit pour différents courants :

Avec le courant de 10.53.

Premier fil d'argentane. . . .	$tl = 53.46$
Second fil d'argentane.	$tl = 54.06$

Avec le courant de 14.30.

Premier fil d'argentane. . . .	$tl = 28.18$
Second fil d'argentane.	$tl = 28.11$
Troisième fil d'argentane. . . .	$tl = 27.49$
Fil de platine.	$tl = 28.00$

rouvera de même tl constant dans quatre expériences e courant de 18,35, et dans deux avec le courant 69. Les petites différences entre les valeurs de tl dans s cas ne proviennent que des erreurs inévitables de l'ex- ce.

chiffres du tableau montrent aussi que le réchauffement portionnel au carré de la force du courant, ou, ce qui t au même, que ce carré est inverse du temps t du réchauf- t de 1°, c'est-à-dire que s^2t est constant pour chacun des employés successivement dans les expériences. Les lé- différences que présentent entre elles les valeurs s^2t pour fil sont dues à ce que plus le réchauffement est rapide, la perte de chaleur provenant du refroidissement est e, de sorte que t est nécessairement plus petit qu'il ne t l'être dans les cas où le courant est plus fort. Ainsi, si

nous prenons pour exemple les expériences faites avec le p mier fil d'argentane, nous trouvons, pour s^2t, les valeurs vantes : 1° 64,8; 2° 63,3, et 3° 61,3, qui vont, comme o voit, en diminuant. Il en est de même pour les diverses leurs de s^2t avec chacun des cinq autres fils. Pour que ces leurs fussent bien égales avec chacun des fils, il aurait fallu t compte de ces différences dans l'influence du refroidissem

Quoi qu'il en soit, nous retrouvons toujours les deux m lois, savoir : que le réchauffement est proportionnel 1° à la r tance à la conductibilité du fil, 2° au carré de la force du cou Ces deux lois combinées doivent donner comme constant, toutes les expériences du tableau ci-dessus, le produit puisque t est inverse du réchauffement. Or, les produits tirés des nombres fournis par les seize expériences du tab sont sensiblement égaux, et leur valeur moyenne est 585

Les courants d'induction engendrés par la rotation de les pôles d'un aimant, d'une armure de fer doux entourée fil métallique, présentent, quant à leurs effets calorifiques mêmes lois que les courants de décharge et voltaïques. a même démontré, en plongeant dans de l'eau munie d'un t momètre l'armure de fer doux et les bobines de fil dont est entourée, que la chaleur développée dans les fils même bobines est proportionnelle au carré de l'intensité du cou

Une troisième loi à ajouter aux deux autres est que, q que soit la longueur d'un fil conducteur, s'il transmet la m quantité d'électricité dans le même temps, l'élévation d température de chacun de ses points est la même. Seulem si sa longueur augmente, il faut rendre la source du cou plus énergique pour qu'il passe la même quantité d'électr dans le même temps, de manière que la déviation d'un g nomètre reste la même. Cette loi a été constatée pour la mière fois par Peltier et confirmée par E. Becquerel.

Les trois lois que nous avons établies pour un courant c tinu sont les mêmes que celles que Riess avait trouvées le cas de la décharge [1]; cependant il y a entre ces deux m

[1] M. E. Becquerel croit avoir trouvé que pour les courants comme pour

réchauffement par l'électricité u différence importante, qui il toute comparaison entre eux très-difficile, c'est la durée premier et l'instantanéité du second. On aurait beau accu-ler sur une batterie une quantité d'électricité égale à la lité de celle qui produit un courant capable de chauffer un métallique pendant une minute, cependant en faisant écouler uellement pendant une minute cette électricité, on ne pro-rait point le même échauffement. On sait d'ailleurs que dans décharge instantanée, une même quantité d'électricité pro-it un effet calorifique qui varie avec la surface de la batterie. cause de ces différences gît dans la nature si différente elle-me des deux sources d'électricité, comme nous le verrons nd nous aurons étudié ces sources.

Un point important dans les recherches qui viennent nous occuper est de savoir quelle est l'influence sur la istance que le fil oppose au courant électrique, du réchauffe-nt même qu'il éprouve. Nous avons vu, en effet, que cette istance augmente avec l'élévation de la température due me cause extérieure; or, ici le réchauffement provient de la istance du fil, et, d'un autre côté, cette résistance augmente e le réchauffement : où est la limite et comment s'établit uilibre ?

Cette question a été traitée avec détails et résolue au moyen n grand nombre d'expériences par M. Romney-Robinson. instruments dont il a fait usage sont : un galvanomètre, un statat et un pyromètre très-sensible, dans le genre de celui e nous avons décrit[1], et au moyen duquel il pouvait apprécier variations de température d'un fil métallique, d'un fil de tine en particulier. Voici un tableau des résultats obtenus avec fil de platine de $0^{mm},2$ de diamètre et une pile composée d'un ou moins grand nombre de couples. La force du courant déduite des indications du galvanomètre, le courant pris

ures, l'élévation de température est en raison inverse de la quatrième puis-e du rayon du fil; mais cette loi ne nous paraît pas encore être assez ment établie pour pouvoir être admise; c'est ce que nous verrons dans le § 5.

[1] Tome I, page 30, figure 19.

pour unité étant celui qui, produisant sur le galvanomètre déviation de 45°, dégage dans un voltamètre 6P,57 de ga 5 minutes. Le pyromètre donne la température du fil.

FORCE du COURANT.	TEMPÉRATURE DU FIL.	RÉSISTANCES du fil EN TOURS DE RHÉOSTAT.
0.809	289.7	305.5
0.858	319.9	320.8
0.957	559.3	385.2
1.168	930.9	497.9
1.214	1020.6	523.8
1.357	1215.0	591.6
1.404	1338.7	643.8
1.515	1447.0	666.4
1.538	1545.6	706.2
1.794	1761.9	734.4
2.089	1966.4	793.9
2.200	2116.0	840.5
2.222	2166.2	827.8
2.318	2461.6	898.2

Il est curieux de voir combien la résistance augmente une progression rapide avec la température; car à 2 elle est équivalente à 305,5 degrés du rhéostat, et à 2461 898,2.

En plaçant le pyromètre dans le vide, l'accroissement résistance avec la température est le même; seulement la du courant nécessaire pour produire la même température un peu moindre, parce que l'absence de l'air ambiant dim le refroidissement.

Voici un tableau d'expériences semblables faites avec de 0mm,4 de diamètre; il faut remarquer que la huitième rience a été faite en plongeant le pyromètre dans de l'a étendu, de sorte que la température du fil n'a pu s'élever dessus de celle de l'ébullition de ce liquide, savoir 207°F, à près celle de l'ébullition de l'eau.

FORCE du COURANT.	TEMPÉRATURE du fil EN DEGRÉS F.	RÉSISTANCES en DEGRÉS DE RHÉOSTAT.
1.522	365.9	127.8
2.020	481.3	144.9
2.411	719.6	169.0
2.758	1020.7	212.0
3.226	1310.4	238.7
3.699	1518.0	270.1
4.352	1883.9	318.6
9.548	207.8	93.8
4.821	2306.7	346.0
5.230	2355.1	351.4

huitième expérience inscrite d[illegible] ableau démontre que mentation de résistance n'[illegible] due à l'accroissement nsité du courant, puisque le courant y est six fois plus ue dans la première, et que le fil présente moins de résis-, mais qu'elle provient de l'élévation de température, qui, se de l'alcool ambiant, est beaucoup moindre dans ce cas. paraît même être assez exactement proportionnelle à cette tion de température, soit pour un fil de platine, soit pour l de cuivre, ces deux métaux étant les seuls sur lesquels obinson ait opéré, parce que ce sont les seuls dont on ait miné le coefficient de dilatation pour de hautes tempéra-[1].

accroissement si considérable de la résistance qui accom-e celui de la température dans un fil fait naître la ques-de savoir si l'effet calorifique du courant, que nous avons re proportionnel à la résistance qu'il rencontre, est propor-el à cette résistance, telle que le fil la possède avant ir été chauffé, ou à cette résistance telle qu'elle existe, d le fil a atteint la température que lui imprime le pas-

[1] Robinson s'est servi des coefficients de dilatation donnés par Dulong et mais il n'a pas pu faire usage de celui qu'ils ont donné pour le fer, ce métal trop oxydable pour que sa dilatation pût être appréciée exactement à de températures.

sage de l'électricité. M. Robinson a résolu la question en en mant un fil de platine W (fig. 202) dans un premier vase verre B, placé lui-même dans un second rempli d'eau; le fil est mis dans le circuit moyen des conducteurs C, qui reçoivent pôles de la pile. Le fil W est d'abord ent d'air; le courant qui le traverse le ch très-fortement, et sa résistance s'accroît d' tant; sa chaleur est toute employée à cha les enveloppes de verre et l'eau placée tre elles. Dans une expérience, la qua d'eau étant de 5 $\frac{1}{2}$ pouces cubes, un cour d'une force égale à 3,527, éleva la temp

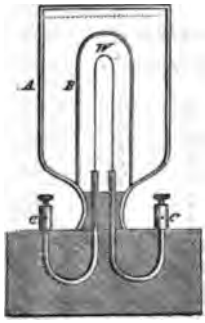


Fig. 202.

ture de l'eau de 72° à 77°, 5 F. en étant transmis pendant 12 nutes; la résistance du fil était équivalente à 257,6 du rhéo le fil était rouge-blanc, et sa température devait être de 1500° viron. Après avoir laissé refroidir l'appareil, on fit passer partie de l'eau du vase extérieur dans l'intérieur, de manière remplir complétement. On transmit alors le courant, qu'on am à la force de 3,558, à peu près la même qu'auparavant, en tant dans le circuit une résistance additionnelle de 165°,6 rhéostat. La température s'éleva seulement de 2°,97 au lieu 5°,5, et l'augmentation de résistance du fil ne fut que de 8 du rhéostat, au lieu de 257,6. Si, dans ce dernier cas, on opère jours avec le même courant, mais sans introduire de résista additionnelle dans son circuit, sa force est alors de 6,045; thermomètre s'élève à 83°,2 F, et l'augmentation de résista est égale à 94°,5 du rhéostat. La force du courant, qui a pre doublé, compense ici, et au delà, l'effet de la diminution résistance, tandis que dans le second cas, le courant ayant c servé la même intensité que dans le premier, l'échauffement cependant beaucoup moindre, parce que la résistance n'est si grande, le fil étant empêché, par l'eau dans laquelle il plongé, d'acquérir la haute température qu'il avait dans la mière expérience. Il résulte donc de là que la véritable loi réchauffement du fil métallique par un courant est, que la leur dégagée est proportionnelle au carré de l'intensité

rant, et à la résistance actuelle du fil (c'est-à-dire celle qui ıltc de son réchauffement).

es recherches de M. Robinson nous montrent que, quand on ıauffe un fil métallique par un courant voltaïque, sa résis- ce au passage de ce courant augmente graduellement ju'à la fusion du fil, et que cette augmentation est assez exac- ent proportionnelle à celle de la température. Il est donc ıportant, dans les recherches où l'on tient à avoir des me- ıs exactes des courants au moyen du rhéostat, de tenir ıpte de cette cause dans la variation de la résistance.

ıemarquons encore qu'il est peut-être difficile d'expliquer la ıde augmentation de résistance dont nous avons donné la ıur numérique, uniquement par l'effet du petit accroisse- ıt de la distance des particules, qui résulte de l'élévation de ıpérature. M. Robinson trouve la cause peu en rapport ı l'effet ; il préfère attribuer le phénomène à l'action directe ı chaleur. Cependant, la grande élévation de température éprouvent les fils produisant chez eux une dilatation pro- ionnellement toujours plus considérable à mesure qu'ils se ıauffent davantage, il ne serait pas étonnant que l'augmen- ıı de distance de leurs particules qui en résulte, jointe aux ıifications qu'en éprouve la propagation même du courant, ıent suffisantes pour rendre compte de l'accroissement de ı résistance, sans être obligé de recourir à une intervention ıete de la chaleur, c'est ce que nous verrons au § 8.

Le rechauffement que le fil éprouve par l'effet du courant qui ıaverse, en augmentant la résistance qu'il oppose au passage ıe courant, doit donc en diminuer l'intensité en même temps ıil en favorise l'effet calorifique ; double résultat dont l'un ıinverse de l'autre, ce qui finit par déterminer un état d'équi- ıe entre eux. Mais si l'on refroidit par une cause extérieure ı partie d'un fil rougi par le courant, aussitôt l'autre portion ıient beaucoup plus incandescente, et peut même fondre ou ıiler, parce qu'en diminuant par le refroidissement la résis- ıce d'une partie du circuit, on augmente l'intensité totale du ıant qui le traverse. C'est ce que Davy avait le premier ob- ıé en donnant à son expérience une forme assez piquante,

qui consistait à placer un morceau de glace sur une po
d'un fil de platine rougi par le courant, ce qui augmentait a
dérablement et immédiatement l'incandescence du reste d
De même lorsque ce fil était rougi par le courant dans tou
longueur, il suffisait d'en chauffer par une lampe une p
au rouge blanc, pour que le reste devînt froid.

Cette influence des causes de refroidissement extérieur s
phénomène d'incandescence des fils donne lieu, dans quel
cas, à des effets assez bizarres en apparence, mais qui ren
cependant dans les lois générales que nous avons exp
Ainsi, il est bien connu qu'un fil de platine rougit beau
plus facilement, et sur une beaucoup plus grande longueur,
le vide que dans l'air, ce qu'il est facile de vérifier au moy
l'appareil de la fig. 203, qui consiste dans un tube term

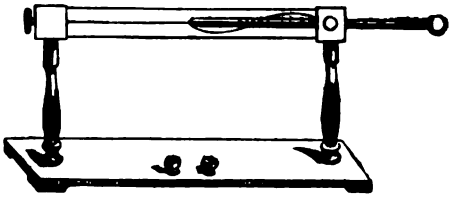


Fig. 203.

un bout par une pince en laiton, à laquelle on fixe l'une des
mités du fil, et à l'autre par une boîte en cuir dans laquelle
une tige métallique qui glisse le long du fil, de manière
mettre une portion plus ou moins longue dans le circu
pince et la tige communiquent extérieurement chacun
l'un des pôles d'une pile. A mesure que l'on raréfie l'air d
tube et qu'on s'approche du vide, on voit qu'on peut faire
une plus grande longueur du fil.

Mais si, au lieu d'avoir un seul fil, on en a deux sue
parfaitement semblables quant aux dimensions et à la n
séparés l'un de l'autre par un gros conducteur, alors l'inf
refroidissante du milieu ambiant produit des effets sing
ment complexes, que M. Grove a signalés le premier et a d
avec soin. L'appareil dont s'est servi le savant physicien e
consiste (fig. 204) dans deux tubes en verre de 7 à 8 milli

mètre et de 4 centimètres environ de longueur, fermés par uchons traversés par de petites tiges de cuivre auxquelles ssent des fils fins de platine tournés en hélice de $0^{mm},3$ de tre, et d'une longueur de 10 centimètres environ quand

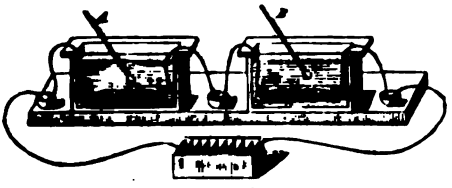


Fig. 204.

nt déroulés ; l'un des tubes est rempli d'oxygène, e d'hydrogène, et ils sont plongés dans deux vases dis- semblables, contenant chacun environ 100 grammes l'un thermomètre est placé dans chaque vase, et les fils éunis de manière à former un circuit continu. Un courant it par une pile de huit couples de Grove, ayant huit pouces de surface chacun, les traverse successivement, et on voit le platine placé dans le tube qui contient l'oxygène de- rouge-blanc, tandis que celui qui est dans le tube à hy- ne ne s'échauffe pas d'une manière visible. Jusqu'ici le mène ne paraît pas extraordinaire, puisqu'on sait que ence refroidissante de l'hydrogène est comparativement plus grande que celle des autres gaz. Mais ce qui est sin- r, c'est que la température de l'eau s'élève très-inégale- dans les deux vases. Ainsi, dans une expérience, elle a, dans le vase où était le tube à hydrogène, de 15°,5 à 21, s celui où était le tube rempli d'oxygène, de 15°,5 à 27°, 2, à-dire d'un nombre double de degrés. On obtient des dif- ces analogues, mais moins considérables, avec d'autres Voici le nombre de degrés dont l'eau se réchauffe en en- nt le fil de platine successivement de différents gaz, et en ciant chaque fois avec un fil de platine semblable entouré drogène :

Hydrogène.	5° 5
Hydrogène sulfuré.	6°

Gaz oléfiant.	9° 2
Acide carbonique.	11°
Oxyde de carbone.	11°
Oxygène.	11° 7
Azote.	12°

Il résulte de ce tableau que le tube dans lequel est dont le pouvoir refroidissant est le plus considérable, l' gène, est celui qui réchauffe le moins l'eau dont il est e Ainsi, non-seulement le fil de platine ne peut y conser température aussi élevée que dans les autres gaz, ce q pas étonnant, puisqu'il est entouré d'un milieu doué d' grand pouvoir refroidissant, mais de plus il reçoit du une chaleur moindre, ainsi que le prouve la tempéra l'eau qui absorbe toute cette chaleur dans chaque cas.

D'où vient ce dernier effet ? Serait-ce de ce que les g cent un pouvoir conducteur propre, mais différent pour qui ferait qu'une proportion plus ou moins grande du les traverserait au lieu de passer en entier par le fil ? M tude que nous avons faite, dans le chapitre précéden conductibilité électrique des gaz, ne nous permet pas d' cette explication.

C'est à Clausius qu'on doit d'avoir trouvé la véritabl de cette anomalie, qui est due à ce que le fil, en se dissant, devient meilleur conducteur ; dès lors le c rencontrant, en le traversant, une résistance moins y développe moins de chaleur. Ainsi, l'hydrogène, dans périences de Grove, joue le même rôle que la glace dans Davy : il refroidit le fil de platine plus que ne le autre gaz ; il le rend, par là, plus conducteur, par com moins susceptible d'être échauffé par le courant, tandi même temps il facilite la transmission de ce courant, et, mentant ainsi son intensité, contribue au réchauffeme considérable du fil placé dans l'autre gaz.

Il résulte de là que plus un gaz exerce un pouvoir re sant considérable, plus il devra rendre le fil de platine teur, en même temps qu'il diminuera l'élévation de la rature que détermine chez lui le passage du courant.

Grove lui-même avait trouvé en plaçant dans le circuit vol-
ıe, avec un voltamètre chimique, le fil de platine entouré
ssivement de chacun des gaz. Voici le tableau des résultats :

GAZ ENTOURANT LE FIL.	QUANTITÉ DE GAZ. DÉGAGÉE PAR MINUTE.
Hydrogène.	138.6
Gaz oléfiant.	126
Oxyde de carbone.	118.8
Acide carbonique.	118.8
Oxygène.	117.0
Azote.	115.0

'ordre des gaz, dans ce tableau, est parfaitement le même
celui du tableau où se trouve le pouvoir refroidissant de
ne gaz sur le fil de platine.

s lois qui régissent le dégagement de la chaleur par le pas-
du courant à travers les fils métalliques s'appliquent
ement au cas des conducteurs liquides, ainsi que M. E. Bec-
el l'a démontré en se servant successivement de deux dis-
tions, l'une de sulfate de cuivre, l'autre de sulfate de zinc[1].
nit soin de prendre pour électrodes, dans le premier cas, des
le cuivre, dans le second, des fils de zinc, afin d'éviter les
gements chimiques dans le liquide pendant la durée de
érience. Un thermomètre, plongé dans le liquide, indiquait
mpérature, et un voltamètre chimique, placé dans le cir-
, mesurait l'intensité du courant. Toutes les précautions
nt prises, comme avec les fils, pour tenir compte du re-
issement du liquide qui était renfermé dans un creuset
latine. Voici, pour chaque dissolution, les quotients qu'on
nt en divisant le nombre qui représente la quantité de cha-
dégagée dans chaque expérience par le carré du nombre
représente l'intensité correspondante du courant :

[1] Chaque dissolution renfermait, sur 20 grammes d'eau, 4 grammes de sulfate.

EXPÉRIENCES.	SULFATE DE CUIVRE.	SULFATE DE ZINC.
1re expérience.	0.2158	0.4280
2e expérience.	0.2205	0.3025
3e expérience.	0.2032	0.3190
4e expérience.		0.4123
Moyennes.	0.2132	0.3634

L'égalité assez sensible de ces quotients dans chaque d'expériences, malgré quelques écarts tenant aux difficul l'expérience, surtout sensibles avec le sulfate de zinc, m bien que *pour un même liquide, la quantité de chaleur est p tionnelle au carré de l'intensité du courant.*

En comparant la résistance électrique des deux dissolu à celle d'un fil de platine pris pour étalon, on trouve ce ra égal à 0,0261 pour la dissolution de sulfate de cuivre, et à 0, pour celle de sulfate de zinc. Mais, d'après les expérienc fil étalon a une conductibilité telle que, pour un coura pable de donner 1 centimètre cube de gaz par minute, la tité de chaleur dégagée serait 10,027. Donc, si la loi proportionnalité de la chaleur dégagée à la résistance est pour les liquides comme pourles solides, on trouvera cette tité égale, pour le sulfate de cuivre, à $10,027 \times 0,0261 =$ pour le sulfate de zinc, à $10,027 \times 0,032 = 0,32$. Par rience on a trouvé 0,21 et 0,36.

Les différences passablement fortes qui se manifeste entre les résultats du calcul et ceux de l'expérience pe tenir aux effets chimiques qui se passent nécessairement surface des électrodes, quand même on a choisi ceux-ci d nière à annuler ces effets autant que possible. Aussi, qu s'agit de liquides qui éprouvent une altération chimique par l'effet de la décomposition, il faut nécessairement compte de ces effets, car cette décomposition s'opère tou en absorbant la chaleur nécessaire au nouvel équilibre

, chaleur constamment moindre que celle qui est dégagée
ffet de la résistance du corps au passage de l'électricité,
e se trouve ainsi diminuée de la première, que nous
rons à évaluer dans le chapitre suivant.

'est pas seulement dans le conducteur liquide interposé
es pôles de la pile, mais aussi dans celui où plongent les
, qu'on peut vérifier l'exactitude des lois que nous
de rappeler. M. Joule a prouvé en effet que *la chaleur
pée dans un temps donné dans chaque couple, par l'action
e seule, est proportionnelle à la résistance de conductibi-
ce couple multipliée par le carré de l'intensité du courant
ue*. Il résulte donc de cette loi combinée avec les pré-
es le principe général, que la chaleur qui se développe
ne partie *quelconque* du circuit est proportionnelle au
le la force du courant multiplié par la résistance de cette
du circuit. Si la loi est exacte pour une partie du circuit,
ut, suivant la remarque très-juste de M. Poggendorff,
quer au circuit tout entier, la pile comprise. C'est là la
rande des différences que nous avons dit (p. 181) exister
a pile voltaïque et la batterie électrique, quant à leur ac-
dorifique. M. Joule a déduit également de la loi générale
es conséquences, qu'il a vérifiées par l'expérience, sur
ports qui existent entre la chaleur dégagée par le circuit
et les actions chimiques qui ont lieu dans le circuit, soit
urement aux couples, soit dans les couples eux-mêmes.
sition de ces recherches ne peut être faite convenable-
qu'après avoir achevé l'étude des effets chimiques du
it.

ois cependant, avant de terminer ce paragraphe, faire en-
mention d'un principe important que j'ai fait connaître
3, et qu'a confirmé récemment M. Favre au moyen d'ex-
ces plus directes. Ce principe consiste en ce que la somme
antités de chaleur dégagées par un courant donné, dans
ducteur métallique qui réunit les pôles d'un couple et
e couple lui-même, est constante; seulement, suivant la
ur du fil qui sert de conducteur, c'est tantôt l'une, tantôt
de ces deux quantités qui est la plus considérable. Une

manière très-simple de faire l'expérience est d'employer couple platine et zinc distillé ou cadmium, avec de l'a nitrique très-pur et très-concentré pour liquide, et d'uni deux métaux par un fil de platine plus ou moins gros, q plonge en entier dans une capsule semblable à celle où couple, et remplie de la même quantité d'acide nitrique. observe avec soin, avec deux thermomètres très-sensibles élévations de température de l'acide dans chacune des capsules, et on trouve que leur somme, au bout du temps, est toujours constante, l'une étant tantôt plus, t moins considérable que l'autre. On peut également plong fil de platine qui unit les deux métaux du couple dans le liquide que le couple lui-même, et on voit que, pour le temps, l'élévation de température de ce liquide est touj même, quelle que soit la grosseur du fil de platine. Da deux modes d'opérer, il faut souder au platine et au zinc cadmium, du couple, une tige en platine assez grosse pour q ne s'échauffe pas; c'est au moyen de ces deux tiges qu'on dans le circuit le fil de platine de dimensions variables.

M. Favre a employé un calorimètre semblable à celui a servi aux belles expériences qu'il a faites en commun M. Silbermann sur la chaleur dégagée dans les diverses ac chimiques, pour confirmer et étendre le principe que je d'exposer. Il s'est servi également d'un seul couple zinc pl et eau acidulée d'un vingtième d'acide sulfurique, et il a i posé successivement dans le circuit des fils de platine de gueur variable et de diamètres différents. Il a toujours tr pour 33 grammes de zinc dissous, une quantité totale de ch développée égale à 18137 unités de chaleur, mais rép différemment entre le couple et le fil de platine, suivant l mensions de ce dernier. Or, cette quantité de chaleur est p sément celle que dégage la dissolution même des 33 gra de zinc dans l'eau acidulée par l'effet des différentes ac chimiques qui s'y passent, soit que le sulfate de zinc soit f par une transmission d'électricité à travers un gros fil n'offre aucune résistance au courant, soit qu'il soit form rectement sans électricité transmise; dans ce dernier cas,

té de chaleur était de 18444 au lieu de 18137, ce qui ne ridemment qu'à quelques erreurs d'expériences. M. Favre t de là que la chaleur développée par la résistance au e de l'électricité dans les conducteurs de la pile est un emprunt fait à la chaleur totale produite par les actions ues qui ont lieu dans le ou les couples, et qu'elle est ri- isement complémentaire de celle qui y reste confinée, de e à former une somme égale à la chaleur totale corres- nte uniquement aux réactions chimiques, indépendam- e toute électricité transmise.

sulterait de la loi de M. Favre, que de même que toutes ions chimiques ne produisent pas la même quantité de r, de même aussi la même quantité d'électricité dyna- pourrait aussi produire des effets calorifiques très-diffé- suivant la nature de l'action chimique qui lui aurait naissance. C'est ce que M. Botto avait déjà démontré dans herches où il cherchait à comparer entre elles les quan- chaleur dégagées par l'électricité provenant de couples erente nature. Nous reviendrons sur ce sujet, et sur les travaux auxquels il a donné naissance, quand nous nous rons de la production de l'électricité par les actions chi- . Nous nous contenterons pour le moment de remarquer élément très-important du courant voltaïque, savoir, la de l'action qui lui donne naissance, ou, ce qui revient au la nature de la force électromotrice, joue dans la pro- des effets calorifiques un rôle analogue à celui de la de l'électricité, dans le dégagement de chaleur opéré par harges électriques. Cette remarque très-juste de Riess at voir qu'il faut, de même qu'on distingue dans les dé- la densité de la quantité, distinguer dans les courants *ite* qui correspondrait à la densité, de la quantité; c'est nous démontrera également l'étude des effets chimiques ctricité.

ncandescence et fusion des métaux par l'électricité mique, et effets moléculaires qui les accompagnent.

nous sommes borné, dans les deux paragraphes pré-

cédents, à rechercher les lois qui régissent le simple réch
ment des fils par l'électricité dynamique, sans nous occuper
changements, soit permanents, soit passagers dans leur
rence, qui accompagnent ce réchauffement quand l'électri
dépasse une certaine limite d'intensité. Nous avons déjà
mention de ces effets, soit dans le § 2 du présent chapitre,
dans le § 4 du précédent. Ils consistent essentiellement
l'incandescence, la fusion, la vaporisation, ainsi que dans
flexion, la rupture et autres modifications moléculaires qu'
vent les fils par le passage de décharges électriques relative
plus fortes que celles qui produisent le simple réchauffe
Les faits de cet ordre sont, en effet, essentiellement produits
les décharges plutôt que par les courants électriques, ét
résultat d'une action brusque et très-intense, plutôt que
action modérée, mais continue; cependant de forts cou
peuvent, dans certains cas, les manifester. C'est à Riess
nous empruntons la plupart des détails que nous donne
dans l'étude que nous allons en faire.

Le premier effet mécanique qu'éprouve un fil de métal m
traversé par la décharge, consiste dans un ébranlement se
et dans la formation d'une espèce de vapeur grise, épa
composée de parcelles métalliques détachées de sa surface.
manifeste en même temps des étincelles aux points d'attach
fil avec les conducteurs destinés à le mettre dans l'arc de cl
de la batterie; ces étincelles proviennent de parcelles mé
ques un peu plus grandes que les premières qui sont arra
des points d'attache, et jaillissent en devenant incandesc
L'ébranlement est d'autant plus sensible que le fil est plus
bile, et quant aux étincelles, elles sont plus brillantes av
platine, le palladium qu'avec l'argent et le laiton, et il n'y
pas avec le cuivre. Le scintillement même des étincelles dé
à la fois de la ténacité du métal et de son degré d'oxydab
aussi il n'y en a point avec l'argent, tandis qu'avec le fer
très-fort. La formation du nuage de vapeurs est un phéno
beaucoup plus constant; mais son intensité varie, non-se
ment d'un fil à l'autre, mais aussi dans un même fil avec l
de sa surface. Ainsi, un fil de platine qui a été bien poli, d

in et hermétiquement serré à ses points d'attache, exige
harge plus forte qu'un autre semblable, mais qui n'est
s les mêmes conditions, pour manifester les phénomènes
us venons de signaler. En augmentant graduellement la
la décharge, on observe une altération dans l'état phy-
u fil, qui devient persistante; c'est une inflexion qui ne
ifeste d'abord que comme une diminution de poli en un
e la surface, et qui finit par devenir de plus en plus sen-
t par se transformer en un angle très-appréciable, avec
és longs de plusieurs millimètres. Cet angle est en gé-
rès-obtus, de 110° le plus souvent. Il se manifeste égale-
ans des fils de platine, de fer et de cuivre, même lors-
ont des diamètres considérables. Sa formation est plus
quand le fil est fortement tendu; il est alors souvent
cé par une simple légère entaille ou par un déchirement
ui-même qui a lieu là où l'inflexion se serait formée si
vait pu céder. L'apparence onduleuse que présentent
quand ils ont été mis plusieurs fois de suite en incan-
e par des décharges répétées, tient à la formation de
rs de ces angles qui se modifient ainsi les uns les autres.
évidemment à ces inflexions qu'est dû le raccourcisse-
es fils qui ont subi un grand nombre de décharges, et
irne et Van Marum avaient déjà signalé, le premier ayant
au moyen de 15 fortes décharges successives, à rac-
de 2 centimètres un fil de fer long de 27 centimètres et
e 0mm,3; le second ayant, par une seule décharge, rac-
de 8 millimètres un fil de fer long de 65 centimètres. Riess
ré, en effet, qu'un fil de platine de 174 millimètres de
ur qui avait subi un raccourcissement de 12 millimètres
, par l'effet des décharges, revient, à 2 millimètres près,
ngueur primitive, en étant simplement étiré entre les
; il s'est assuré que ce raccourcissement apparent est tou-
lû à des inflexions qui, dans certains cas, échappent à
ervation superficielle.

. Becquerel avait également observé que, soit dans l'air,
ns le vide, des fils de platine et d'argent, d'un très-petit
re, se raccourcissent et deviennent ondulés sous l'action

d'une ou de plusieurs décharges, et que cet effet s'accroît avec le nombre des décharges.

L'incandescence des fils est soumise aux mêmes lois que le simple réchauffement ; c'est ce que Riess a démontré en plaçant dans l'arc de clôture un thermomètre électrique muni d'un fil assez fort pour ne pas subir d'altération mécanique, mais éprouver un simple réchauffement par l'effet de la décharge dont il sert à mesurer l'intensité. Ainsi, en cherchant à déterminer la quantité d'électricité et le nombre de bouteilles nécessaires pour amener un fil de platine d'une dimension donnée à un état d'incandescence visible de jour, on trouve que, puisque le réchauffement indiqué par le thermomètre électrique et l'incandescence demeurent les mêmes, il faut que le produit de la quantité d'électricité par sa densité soit constant. Dans les expériences faites par Riess, ce produit $\frac{q^2}{s}$ était en moyenne de 31 ; q étant la quantité d'électricité et $\frac{q}{s}$ sa densité ; il en résulte que, connaissant ce produit 31, on peut déterminer pour un nombre quelconque s de bouteilles la quantité d'électricité nécessaire pour rendre incandescent le même fil de platine. Il faut, en effet, avoir $\frac{q^2}{s} = 31$ ou $q = \sqrt{31\,s}$.

Voici un tableau des résultats comparatifs du calcul et de l'observation tels que Riess les a obtenus :

Nombre de bouteilles.	2	3	4	5	7
Valeur calculée de q	7.9	9.6	11	12.4	14.7
Valeur observée de q	8	10	11	12	14

Il est remarquable que les valeurs observées s'accordent aussi bien avec les valeurs calculées dans l'appréciation d'un phénomène où la sensibilité de l'œil joue un rôle aussi important.

La force de la décharge nécessaire pour produire l'incandescence est, comme pour le simple réchauffement, indépendante de la longueur du fil et proportionnelle à la quatrième puissance de son rayon. Pour démontrer l'exactitude de la première

prend d'abord un fil de platine de 35 millimètres de lon-
ur, et on trouve que pour le rendre incandescent, il faut
décharge déterminant dans le thermomètre électrique un
auffement égal à 8, produite elle-même par quatre bou-
es, avec une quantité d'électricité $q = 12$, ou par sept bou-
es avec $q = 15$, ce qui revient au même, d'après la loi
édente. Avec un fil cinq fois plus long, c'est-à-dire de
millimètres, il faut, il est vrai, avec quatre bouteilles, une
ntité d'électricité $q = 22$, mais produisant sur le thermo-
re le même réchauffement 8, ce qui prouve que la force de
charge est restée la même.

a seconde loi résulte d'expériences faites avec cinq fils de
ètres différents placés successivement avec le thermomètre
trique dans le même arc de clôture. En calculant d'après la
elle doit être la force de la décharge, ou, ce qui revient au
e, la température indiquée par le thermomètre électrique
produire l'incandescence de chacun des cinq fils, et en
parant le résultat du calcul à celui de l'observation, on
re le tableau suivant :

RAYON DE FIL.	TEMPÉRATURE DU THERMOMÈTRE ÉLECTRIQUE	
	OBSERVÉE.	CALCULÉE.
0mm.040	1.2	1.3
0 .047	2.7	2.3
0 .059	5.8	5.6
0 .065	8.1	8.0
0 .090	31.0	32.4

and il s'agit de comparer les charges électriques néces-
s pour produire l'incandescence de divers métaux, l'expé-
ce est bien plus difficile, parce que la couleur du métal, sa
té plus ou moins grande à s'oxyder, rendent l'observation
taine. Cependant Riess est parvenu, par la même méthode
ci-dessus, à déterminer pour des fils de même diamètre,
de nature différente, la force de la décharge nécessaire pour

les rendre incandescents. Voici les résultats qu'il a o
avec les métaux du commerce, et par conséquent dont
reté chimique ne peut être garantie :

Fer.	0.816
Argentane.	0.950
Platine.	1. 00
Palladium.	1. 07
Laiton.	2. 59
Argent.	4. 98
Cuivre.	5. 95

On voit bien que pour produire la même incandescen
chaque fil, la force de la décharge doit être d'autant plus
que la résistance au passage de l'électricité est moindre
tat semblable à celui que nous avions obtenu pour le r
fement, et qui avait été constaté depuis longtemps, comm
l'avons remarqué, par un grand nombre de physicien
pour l'incandescence produite par les décharges, qu
celle que détermine le courant électrique. Mais indép
ment de cette cause, la chaleur spécifique du métal et
sité doivent exercer une influence qu'on pourrait ap
exactement, si l'on pouvait être certain que l'incand
commence, pour les différents métaux, à la même tempé
Dans ce cas, en effet, on devrait obtenir le même quot
divisant le produit formé de la force de la décharge né
à chaque métal pour devenir incandescent multiplié pa
sistance électrique, par le produit de sa chaleur spécifiq
sa densité ; et c'est ce qui n'a pas lieu. Cela tient à ce qu
tres circonstances exercent une influence sur l'incande
telle, en particulier, que la facilité plus ou moins gran
laquelle les métaux absorbent l'oxygène de l'air. On n
donc attacher une grande importance théorique aux r
consignés dans le tableau ci-dessus.

Il nous reste à étudier les phénomènes de déchirem
fusion et de pulvérisation, qui suivent une incandescen
voquée par une charge trop forte pour que le fil puisse
rer intact ou ne subir que de simples inflexions ; ce sont de
en partie calorifiques, en partie mécaniques, qu'il est im

n analyser pour se faire une idée exacte de cet ordre de
menes.
nd on augmente graduellement la quantité d'électricité
aire pour produire la simple incandescence du fil, on ob-
l'abord une incandescence très-vive, puis le fil devient
lanc, et enfin il se rompt en deux ou plusieurs fragments;
:t de ces fragments montre que c'est plutôt une déchirure
e fusion qui s'opère. La différence entre l'intensité de la
rge qui produit simplement l'incandescence et celle de la
rge qui produit la déchirure varie avec la nature des mé-
elle est grande avec le platine et le palladium, plus petite
e cuivre, l'argent et le fer, et très-faible pour le laiton.
st beaucoup moindre pour un métal qui a déjà subi la
rge que pour celui qui la subit pour la première fois.
examiner l'état des fragments, il faut placer le fil dans
be de verre; on voit quelquefois les fragments se souder
s aux autres, mais ils ne présentent aucune trace de fu-
. leurs extrémités, qui sont appointies comme si le fil avait
mpu par une force qui l'aurait tiré dans le sens de sa lon-
:. Pour éviter ces fusions superficielles, il faut employer
écharge plus forte. Ainsi, dans une cloche de verre, haute
centimètres et large de 15, une batterie de 5 bouteilles
it un fil de platine de 43 millimètres de longueur et de
) de rayon, incandescent avec une quantité d'électricité
a 12, et le brisait en plusieurs fragments avec une quan-
gale à 17, tandis qu'un fil de cuivre, dans les mêmes
tions, exigeait 23 d'électricité pour devenir incandescent,
pour être déchiré. Les métaux qui entrent facilement
sion, tels que des fils d'étain et de cadmium, sont déchirés
asser par l'incandescence.
l'on dépasse la force de la décharge qui déchire le fil, on
ent à le fondre, tout en le brisant en même temps en un
l nombre de fragments. Ainsi un fil de platine semblable
u qui avait été déchiré par la quantité d'électricité égale
fut brisé et fondu en partie avec une quantité égale à 20.
ls d'argent et d'étain éprouvaient le même effet. Mais pour
une fusion c p , il faut des décharges plus fortes. Le

fil de métal est réduit alors à de petites boules parfai rondes; c'est ce qu'on observe facilement avec des fils de p et d'argent; pour un fil de cuivre, long de 36 millimètre 0,056 de rayon, une batterie de six bouteilles le met en descence avec une quantité d'électricité égale à 25, et le avec une quantité égale seulement à 30, en un nombre de petites boules à peine perceptibles. La différence en deux quantités d'électricité est bien petite; cela tient pre ment à ce qu'avec les métaux facilement oxydables, la rature est augmentée par la présence de l'oxygène de l' s'ajoute ainsi un réchauffement chimique au réchau électrique. Cet effet est surtout sensible avec le fer, qu souvent sous l'influence de décharges qui n'eussent d duire qu'un réchauffement modéré. L'incandescence d cas ne cesse pas immédiatement après que la décharg lieu, comme cela arrive ordinairement, mais le fil pa l'incandescence blanche et se fond en gouttes qui rejai en étincelant.

La fusion est donc un phénomène assez complexe; au il impossible d'établir pour chaque espèce de métal la l la décharge nécessaire pour le fondre, d'autant mieu ainsi que Van Marum l'a observé, toute l'électricité de terie n'est pas employée à opérer la fusion, et qu'il r résidu dans la batterie même qui est quelquefois asse dérable. Cet effet, que Riess a étudié avec soin, tient à l'électricité produit la désorganisation du fil en un insta court pour avoir le temps de passer en entier. Il est as rieux que le résidu, lors de la réduction d'un fil en frag soit 0,23 de la totalité d'électricité qui était dans la b tandis qu'elle n'est que 0,15, c'est-à-dire moins consi lors de la simple décharge explosive à travers l'air.

Nous avons vu que le premier effet de la décharge su est la formation d'un petit nuage de vapeurs qui provi particules détachées de la surface. Avec une décharge samment forte, on peut réduire toute la masse même d une semblable vapeur. Un fil de platine soumis à la dé de 5 bouteilles devint incandescent avec $q=13$, fondit

bules avec $q=17$, et il disparut avec une lumière écla-
n laissant le tube dans lequel il était renfermé revêtu
ouche grise qu'on pouvait facilement enlever. Dans l'air
a vapeur recueillie sur une lame de cuivre présentait
hes grises et noirâtres qui semblaient formées de frag-
métalliques de formes et de grandeurs diverses, et qui ne
aient pas de traces de fusion. La pulvérisation est donc
stincte de la fusion, et ce qui le prouve, c'est que l'étain,
besoin pour être fondu d'une charge moindre que le
m, en exige une plus forte pour être pulvérisé. En gé-
l'air libre, le métal pulvérisé est oxydé en même temps;
t en recueillir des traces très-visibles en plaçant sur une
de papier blanc le fil qu'on pulvérise, et si on veut ob-
s traces du métal lui-même et non de son oxyde, on n'a
pulvériser dans une cloche où il y ait de l'azote ou de
s-raréfié. Il faut avoir soin, dans ces expériences, de bien
les fils en les plaçant entre deux feuilles de papier.
résumé, si l'on suit la série des effets que produisent des
ges d'une intensité croissante, on trouve que le fil com-
par se réchauffer, qu'il éprouve un ébranlement, puis
lexions, qu'il devient incandescent, qu'il est arraché des
auxquelles il était fixé, qu'il est rompu en fragments,
et enfin pulvérisé. Les effets calorifiques et mécaniques
ivent ainsi entremêlés de manière non-seulement à se
r alternativement, mais aussi à se trouver simultanés
en des cas. Ainsi l'incandescence d'un fil n'a jamais lieu
l'il n'y ait en même temps des inflexions, et il est rare
obtienne une fusion sans qu'il n'y ait en même temps une
e du fil en fragments. La pulvérisation est également
rs accompagnée d'une grande élévation de température,
que le prouve l'oxydation des poussières métalliques.
sociation des deux genres d'effets conduit à présumer
ont liés par une dépendance mutuelle. Et, en effet, il est
le s'assurer que l'incandescence et la fusion ne sont pas
ple effet du dégagement de chaleur par la décharge sui-
s lois établies par l'expérience; car cette chaleur, dont
it calculer l'intensité en connaissant la force de la dé-

charge, serait loin de suffire pour produire l'incandescence
la fusion. Il y a donc dans la production de ces deux phé
mènes un effet direct de l'électricité, indépendamment de l'
tion indirecte qu'elle exerce en produisant la chaleur. J'
estime que ce double mode d'action tient à ce que la trans
sion de la décharge s'opère d'une manière toute différente
produire le réchauffement du fil, de celle dont elle a lieu
occasionner les effets mécaniques au nombre desquels il
placer l'incandescence et la fusion. Nous reviendrons
loin sur le mécanisme même de la décharge, quand nous
aurons étudié les effets calorifiques et lumineux dans son t
à travers les conducteurs imparfaits.

Ce mécanisme paraît, en certains points, différer de cel
courant voltaïque qui ne posséderait que le mode de t
mission propre au développement de la chaleur ; car, a
courant, les phénomènes d'incandescence et de fusion ne
raissent être qu'une simple conséquence d'une augment
de réchauffement, et on n'observe pas d'effets mécaniques
que la rupture et la pulvérisation. Toutefois on peut re
quer dans les fils qui ont éprouvé l'incandescence une al
tion à leur surface du même genre que celle que nous a
appelée inflexion. Cette altération est même plus profonde
les fils qui ont été rendus incandescents par le passage
fort courant voltaïque deviennent plus cassants et parai
éprouver une modification dans leur structure molécul
C'est ce que j'ai souvent observé avec des fils de platine, p
que cet effet n'est point dû à une oxydation.

Il existe en outre, dans les effets calorifiques et lumineux
duits par les piles à haute tension à travers les conducteur
parfaits, des phénomènes particuliers qui dénotent égal
un genre d'action mécanique exercé par les courants, anal
jusqu'à un certain point, à celui des décharges. Enfin
aurait à faire, pour les effets d'incandescence des fils métall
par le courant, une étude analogue à celle qu'a faite Riess
les décharges, et peut-être trouverait-on des résultats plus
riés et des lois plus détaillées que celles que nous a
exposées dans le paragraphe 2, où nous avons traité ce sujet

Effets calorifiques et lumineux des décharges à travers des conducteurs imparfaits.

s avoir étudié les effets lumineux, et principalement ques de l'électricité dynamique, quand elle est trans- travers de bons conducteurs, il nous reste à nous occu- ces mêmes effets quand le conducteur est imparfait. Ce teur imparfait peut être solide, liquide ou gazeux, mais ns particulièrement dans les deux derniers cas, et sur- ns le troisième, que se manifeste le phénomène à la fois que et lumineux qui accompagne soit la décharge élec- soit le passage d'un courant. Nous distinguerons dans du phénomène le cas où il est produit par la décharge, lui qui va nous occuper, et le cas où il est produit par le t, auquel nous consacrerons le paragraphe suivant.

omme en général *étincelle électrique* l'apparence lumi- qui accompagne la décharge électrique à travers un con- r imparfait. Cette apparence se présente sous des formes riées, suivant l'état physique et la nature, soit du milieu se manifeste, soit des bons conducteurs, ordinairement ques, entre lesquels s'opère la décharge. Dans l'air ordi- et avec des conducteurs en forme de boules et en laiton, lle a la forme d'un trait d'une couleur blanche avec une ueur rougeâtre à ses deux extrémités. Si la décharge est étincelle est longue, et forme des lignes brisées et légè- courbes. On peut avec de bonnes machines électriques, le secours de bouteilles de Leyde, avoir des étincelles à 35 centimètres de longueur, très-blanches et très- tes, dans lesquelles la forme de zigzag est très-pro- . Cette forme tient évidemment à une condensation de i, s'opérant dans le sens de la direction de la décharge, de se dévier latéralement, mais sans modifier en rien nt de départ et son point d'arrivée.

eut augmenter l'effet lumineux de l'étincelle au moyen es étincelants, qui sont des tubes de verre sur lesquels s en spirale d' petits losanges en étain, dont les pointes

sont très-rapprochées les unes des autres. A leurs ex on fixe des boules de métal qui communiquent ave sanges les plus rapprochés; on tient à la main une de et en tirant de l'autre des étincelles d'une machine él on voit ces étincelles jaillir en même temps entre t pointes; mais la lumière n'est plus aussi vive, et el une teinte rougeâtre qu'elle doit en partie à la forme, à la nature des petits losanges.

Avant de rechercher les propriétés de l'étincelle, et ticulier ses propriétés lumineuses, nous devons ana circonstances qui influent sur sa forme et en général apparence. Ces circonstances sont avant tout l'intens décharge qui lui donne naissance, puis la forme des con entre lesquels elle s'échappe et la nature du milieu qu verse. La nature des conducteurs entre lesquels elle modifier sa couleur, mais non sa forme.

Dans l'air atmosphérique, sous la pression ordinai celle électrique prend souvent la forme d'une aigre

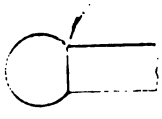


Fig. 205.

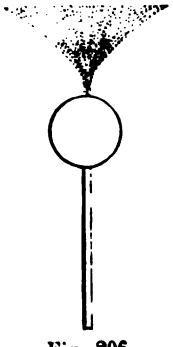


Fig. 206.

forme se présente quand l'électri machine s'écoule par une partie de son conducteur (fig. 205), sort d'un conducteur entouré d' ceau de drap ou d'un morceau couvert d'une poussière métalliq point de sortie, l'étincelle ne prése trait, mais elle se ramifie bien vi foule de petits filets étincelants. bonne machine électrique, il suffi sur son conducteur une longue ti lique de 5 à 10 millimètres de terminée par une petite boule de timètres de diamètre, pour voir la boule une belle aigrette (fig. 20 on met la machine en activité. S usage d'une boule plus petite, en ayant toujours la m chine électrique, l'aigrette est plus faible, et le son compagne, quoique moins prononcé, est plus continu

les plus petites ou des conducteurs terminés en pointes
, les aigrettes diminuent encore, et le son devient à peine
eptible. Quand le son cesse, la lumière change d'apparence
evient continue comme une lueur, au lieu de paraître comme
succession de petits points d'une lumière très-vive.

'aigrette semble donc, suivant Faraday qui en a fait une
e toute particulière, être le résultat d'une succession de
les décharges entre le conducteur et les particules succes-
s de l'air polarisé par induction. C'est ce qui expliquerait
roduction du son. Wheatstone a montré en effet, au moyen
un miroir tournant[1], que l'aigrette, quoiqu'elle paraisse
inue, consiste en décharges successives et intermittentes.
day envisage avec raison ce phénomène comme le résultat
décharge qui a lieu, à travers l'air, entre l'extrémité du
ucteur électrisé et un corps voisin, au besoin les parois de
hambre, électrisé par influence. L'air interposé est polarisé
me doit l'être tout corps diélectrique, et comme les filets
convergent vers le point du conducteur d'où part l'ai-
tte, c'est dans le voisinage de ce point que leur polarité est
plus forte. Aussi, lorsque cette polarité devient assez forte
que la décharge ait lieu, les filets d'air ne sont lumineux
dans leur partie la plus rapprochée du point de départ de
grette, où ils sont le plus concentrés. Plus loin il y a bien
succession de décharges, mais les filets étant plus diver-
s, l'intensité est plus faible; il y a seulement décharges
ures sans lumière. L'influence inductrice des corps voi-

[1] Nous avons vu que Wheatstone est parvenu, au moyen de la réflexion pro-
t par un miroir qui tourne autour d'un axe avec une très-grande rapidité, à
r les plus légères différences de temps entre des apparitions lumineuses qui
ent simultanées (voyez p. 125). C'est par le même moyen qu'il s'est as-
de l'instantanéité de la lumière de l'étincelle, dont l'image n'est point chan-
par le mouvement du miroir, tandis que celle de l'aigrette s'allonge dans le
du mouvement, ce qui prouve que les décharges qui la constituent durent
un temps appréciable par le mouvement du miroir. En même temps,
ncelles successives dont se compose le faisceau qui est lui-même placé sur
nagement de l'axe du miroir tournant, étant réfléchies chacune par une
e différente du miroir, se présentent comme arrangées à des distances régu-
s dans un cercle, preuve de leur discontinuité.

sins est tellement nécessaire à la production du phéno
que, lorsque la machine électrique est faible, il suffit, pou
voquer l'aigrette, d'approcher la main ou un corps condu

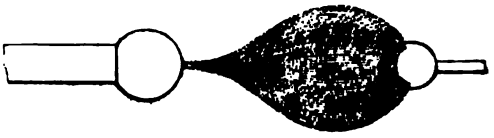


Fig. 207.

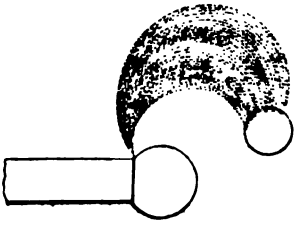


Fig. 208.

Fig. 209.

pour la déterminer et lui donner une forme et une di
qui varient avec la position de ce conducteur (fig. 207,
209), de manière à démontrer qu'elle est bien le résulta
décharge qui s'opère entre les deux conducteurs.

Dans les expériences qui précèdent, l'électricité du c
teur d'où partait l'aigrette était constamme
sitive; si le conducteur, terminé en poin
chargé d'électricité négative, alors on y v
raître un simple point lumineux, ou plutôt c
une petite étoile lumineuse. Mais cependant c
obtenir une aigrette avec l'électricité négativ
servant, au lieu d'une pointe, d'une tige co
trice terminée par une forme arrondie. Seul
l'aigrette est beaucoup plus courte (fig 210)
succession des décharges qui la composent est beaucou
rapide (sept à huit fois) que dans le cas de l'électricité po
ainsi que l'indique le son qui l'accompagne.

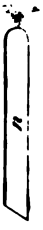


Fig. 210.

utre différence assez remarquable peut être observée
n approche de l'aigrette négative l'extrémité arrondie
métallique qu'on tient à la main; cette extrémité
positive par induction, et montre déjà, à 20 centimètres
ce, une lueur brillante sans que rien ne soit encore
l'aigrette négative; mais à une distance moindre, le
aigrette négative devient plus aigu, ce qui indique une
on plus rapide des petites décharges qui la composent;
tance encore plus petite
ette positive se montre
mité du conducteur in-
ais en même temps la
se contracte, et on
simultanément l'une et
vec une apparence très-
e fig. 211). On peut, en

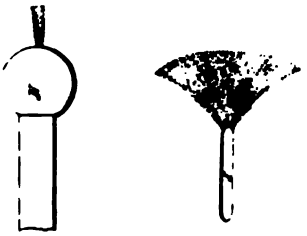


Fig. 211.

nt pour conducteur induit un fil un peu fin, obtenir à
une distance deux aigrettes, l'une positive, l'autre néga-
faitement semblables et donnant des sons à l'unisson.
sumé le conducteur négatif se conduit comme un po-
t l'électricité a moins de tension, ce qui est d'accord
bservation que nous avons déjà faite dans le premier
de cette quatrième partie[1], que l'électricité négative se
e dans l'air à une tension plus basse que celle qui est
re pour l'électricité positive. Faraday avait constaté
éjà signalé par Belli et quelques autres physiciens, en
, ainsi que nous l'avons dit[2], des décharges entre des
e différentes dimensions et en étudiant la formation des
s aux boules inductrices et induites, soit positives, soit
es. Nous verrons plus loin que ce phénomène tient à une
e plus générale qui existe entre les propriétés de l'élec-
sitive et celles de la négative quand elles sortent l'une et
pour se neutraliser, d'un conducteur où elles sont accu-
Mais nous avons à étudier auparavant l'effet de la na-

II, page 106.
II, page 107.

ture du milieu ambiant sur la forme et l'apparence de l'é

Quand on produit l'étincelle dans un espace où l'air

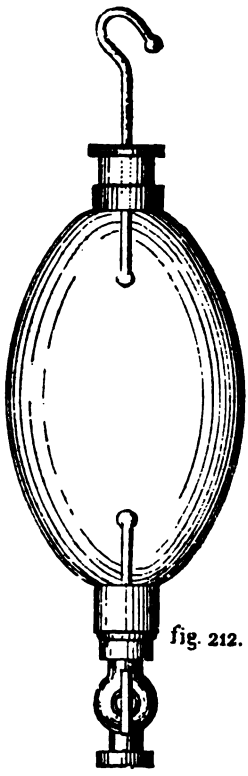


fig. 212.

fié, on la voit se divi faiblir et prendre un rougeâtre. Dans un tu de 2 à 3 mètres, et dan on a fait le vide, ou du m réfié l'air autant que l'étincelle produit une fique lueur rouge viol le remplit tout entier et ble circuler intérieure forme d'hélice, ce qui t bablement à l'influence trice de la couche d'l adhérente au verre. On l'étincelle au travers du moyen de deux viroles ques, placées à ses extr terminées extérieurem par une boule qui com avec la machine d'où l'étincelle, et l'autre av binet qui permet de fai dans le tube et qu'on muniquer avec le sol. On peut également observer les mineux de l'électricité au moyen de l'œuf électrique, q vase de verre de forme ovoïde, à l'une des extrémité est adapté un tube à robinet, et à l'autre une tige à passant dans une boîte à cuir (fig. 212). On rar plus ou moins en vissant le tube sur la platine d'un pneumatique; à mesure que l'air est raréfié, on p gner davantage le bouton de la tige mobile de cel tige fixe ajustée au robinet, et l'étincelle en devem longue perd de sa vivacité, prend une couleur rouge et se divise en une multitude de jets elliptiques. C'est table aigrette, dans le genre de celle de la figure 2

t composée de ramifications très-larges et distantes des autres, quelquefois d'un ou plusieurs centi-

lant lorsque la décharge est très-forte, telle que celle te d'une batterie puis- obtient dans le vidé ière aussi vive et aussi que dans l'air. Si la est en général faible et ans le vide, cela tient la décharge peut avoir une tension beaucoup ande que dans l'air, ce net à la machine élec- vec laquelle on met en ication l'un des bou- œuf électrique, de don- électricité à mesure développe; il n'en est même si on accumule tricité au moyen d'une de manière à la trans- ute à la fois.

on peut obtenir l'étin- s le vide barométrique n d'un tube courbé en syphon et formant un baromètre (fig. 213); passer l'étincelle élec-

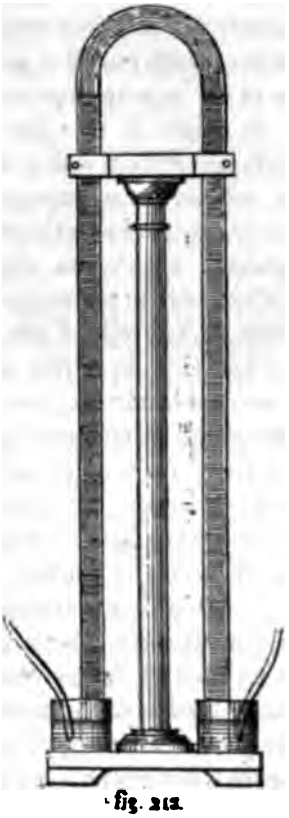


fig. 213.

une cuvette à l'autre en l'obligeant ainsi à traverser colonnes de mercure et l'espace vide qui les sépare. le remplit cet espace d'une lumière diffuse violacée, d'une tension électrique très-faible pour que le phé- ait lieu.

a fait une étude spéciale de la lumière électrique dans u plutôt dans des espaces remplis de vapeurs de diffé- spèces. Il opérait au moyen d'un tube recourbé ayant

une branche fermée et plus longue que l'autre (fig
fil de platine était soudé à l'extrémité de la branche fermée, de manière qu'une partie fût en dehors et l'autre en dedans. La branche fermée était remplie de mercure bien purifié et purgé d'air et de vapeurs aqueuses; puis on faisait le vide dans la branche ouverte qui était munie d'un robinet à son extrémité. On se procurait ainsi au haut de la branche fermée un espace vide d'une plus ou moins grande

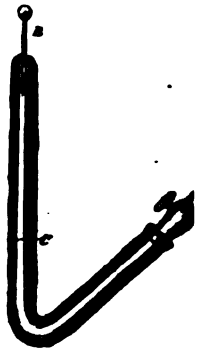


Fig. 214.

étendue. L'étincelle d'une machine, et encore m
d'une bouteille de Leyde, traversait cet espace et
nait un effet lumineux; mais cet effet était beaucoup
en chauffant le mercure graduellement jusqu'à l'
la lumière avait alors une couleur verte dont l'
des plus brillants. A mesure que la température s'a
couleur perdait de sa vivacité, et à 29° F. (—1° $\frac{2}{3}$) la lu
si faible qu'on ne pouvait l'apercevoir que dans l'o
plus profonde. Une petite quantité d'air introduite d
mercuriel faisait changer la couleur de vert en ve
puis en bleu et en pourpre. En remplaçant le m
l'alliage fusible de bismuth et d'étain, on obtena
mière jaune et très-pâle; avec de l'huile d'olive p
chlorure d'antimoine liquide, dont la température d
n'est pas très-loin de celle du mercure, Davy obti
mière plutôt plus brillante que celle qui provenait
tricité dégagée dans le vide mercuriel; elle était d
tirant sur le pourpre avec l'huile, et d'un blanc p
chlorure d'antimoine. Ajoutons que lorsque la tempé
très-basse, il faut une décharge assez forte pour qu'
être transmise à travers le vide barométrique. Ces e
de Davy montrent le rôle important que jouent dans l
tion de la lumière électrique les corps entre lesqu

rges et les particules qui très-probablement en sont dé-
ar cette décharge elle-même.
elle change aussi d'apparence si, au lieu de la trans-
.ravers l'air ou un espace vide, on la fait passer dans
milieux gazeux. Dans l'azote, les étincelles sont plus
que dans l'air et surtout sont accompagnées d'un son
ırquable; dans l'oxygène, elles sont plus blanches que
ste ou dans l'air, mais non aussi brillantes. Dans l'hy-
leur couleur est cramoisie; dans le gaz hydrochlorique
elle est toujours blanche; et ces différences tiennent
e à la facilité plus ou moins grande avec laquelle les
z permettent le passage de la décharge, ainsi que nous
u dans le chapitre précédent[1]. Faraday, à qui nous
s diverses observations, a aussi remarqué qu'on peut
t obtenir l'étincelle dans divers liquides, tels que
de térébenthine, l'huile d'olive, la résine et le verre
eau elle-même, etc.
tte varie aussi d'apparence comme l'étincelle avec les
milieux dans lesquels on la produit. Nous avons vu
rience de l'œuf électrique que dans l'air raréfié, elle
nement brillante et se compose de branches très-allon-
n est de même dans tous les gaz; dès qu'on les raréfie,
se convertit graduellement en une aigrette qui devient
n plus considérable et ramifiée d'une manière dis-
ısqu'à ce qu'à un certain degré de raréfaction, les
qui proviennent des conducteurs positif et négatif se
ıt de manière à former entre elles un jet lumineux con-
phénomène varie avec la grandeur du vase, le degré
ction et la force de l'étincelle que donne la machine.
xaminons maintenant l'apparence des aigrettes dans
s gaz, nous trouvons que dans l'oxygène elles sont
primées et en général bien plus faibles que dans l'air.
verse dans l'azote; ce gaz est celui dans lequel elles
lus lumineuses, et dans l'azote raréfié en particulier
t magnifiques. Dans l'hydrogène, elles sont bien moins

II, page 99.

brillantes que dans l'azote, mais plus que dans l'
leur couleur est d'un vert gris. Dans l'oxyde de car
gaz acide carbonique, elles sont difficiles à produire,
courtes et leur lumière est faible. Dans le gaz acide h
rique, l'aigrette est encore plus difficile à obtenir à
sions ordinaires. En augmentant graduellement la di
deux extrémités arrondies des conducteurs entre le
fait la décharge dans ce gaz, les étincelles cessent, et
tance de deux centimètres entre ces extrémités la d
lieu sans lumière et sans bruit; il est probable qu
dans ce cas une décharge électrolytique, c'est-à-dir
composition électrochimique du gaz; c'est ce que no
dans le chapitre suivant.

L'aigrette s'observe non-seulement dans l'air et da
mais également dans des milieux plus denses. Farad
à la produire dans de l'essence de térébenthine en y
le bout d'un fil de métal placé dans un tube de verre,
étant lui-même dans un vase de métal. L'aigrette
petite et difficile à obtenir, ses ramifications étaient
breuses et divergeaient beaucoup les unes des aut
fallait une chambre bien obscure pour l'observer,
ramifications étaient faibles. Une chose assez rem
c'est que, tandis que le milieu où elle se propage pe
lièrement modifier l'aigrette, la nature du corps d'o
ne semble exercer sur elle d'autre influence que cel
sulte du degré plus ou moins grand avec lequel ce cor
suivant sa conductibilité, la décharge de la machine
de même pour l'aigrette négative; mais celle-ci,
positive, éprouve de la part du milieu où elle se p
effets prononcés. Ainsi la raréfaction de l'air facilite
loppement encore plus qu'elle ne facilite celui de la
La supériorité de l'aigrette positive sur la négative q
bien considérable dans l'air est encore plus grande da
Dans l'hydrogène, au contraire, l'aigrette positive
partie de sa supériorité, tandis que la négative n'es
ou point affectée. Enfin, dans l'oxygène, l'acide carb
l'acide hydrochlorique, toute différence disparaît entr

es, de sorte qu'il est très-difficile de les distinguer l'une
tre.
iste encore, outre l'étincelle et l'aigrette, une forme par-
e sous laquelle se manifeste la lumière produite par la
ge, et que nous désignerons sous le nom de *lueur*. Elle
ître quand on diminue la surface de la boule et de la
ui communique avec la machine; les aigrettes disparais-
lors et sont remplacées par une lueur phosphorescente
ne, qui couvre tout le bout du fil. Cette forme lumineuse
provenir de la rapidité avec laquelle la charge se renou-
ar en augmentant la force de la machine et la raréfaction
r, on favorise sa production.
ueur s'obtient beaucoup plus difficilement avec l'électri-
gative qu'avec la positive; il faut, pour la produire,
r l'air, et en ajustant les deux boules à une distance
able on peut obtenir sur la négative une lueur qui la
re entièrement aussi bien quand elle est inductrice qu'in-
On voit les deux boules et une partie même assez longue
ux tiges qui les portent recouvertes de cette lumière
que.
ueur se présente dans tous les gaz également; Faraday
avoir obtenue dans l'essence de térébenthine, mais très-
t peu visible; elle est accompagnée dans l'air d'un souffle
en général de la partie lumineuse, mais quelquefois
rigé vers elle. Aussi est-elle probablement due à une
ou décharge très-rapide de l'air qui entoure le conduc-
t qui lui reste adhérent même dans le vide le plus parfait.
, en vertu de l'électricité qu'il acquiert et qu'il perd,
un mouvement régulier et donne lieu à une lueur con-
sans qu'il y ait aucune apparence d'agitation. En preuve
e explication, Faraday cite une expérience dans laquelle
ssi à convertir une aigrette en simple lueur en facilitant
nation d'un courant d'air à l'extrémité du conducteur où
duisait l'aigrette. De même, en gênant le courant d'air,
nt changer une simple lueur en aigrette. Il est facile de
le passage de la lueur à l'aigrette et de l'aigrette à l'étin-
Tout ce qui tend à faciliter la charge de l'air par le con-

ducteur électrisé et à conserver à ce conducteur sa même tension, malgré la décharge, contribue à produire la lueur; tandis que les circonstances qui empêchent l'air ou les autres gaz de se charger d'électricité et qui favorisent l'accumulation de l'électricité sur le conducteur, déterminent des décharges intermittentes sous formes d'aigrettes et d'étincelles. Aussi la condensation de l'air, le voisinage de la main ou d'une surface conductrice agissant par influence, le rapprochement graduel d'une boule destinée à recevoir la décharge, provoquent la cessation de la lueur et son changement en aigrette ou en étincelle. En résumé, la continuité de la décharge produit la lueur, la discontinuité produit l'aigrette et l'étincelle quand elle devient plus prononcée.

Il arrive souvent que, dans son trajet à travers un milieu transparent, la décharge électrique n'est pas partout lumineuse; c'est ce que Faraday a nommé *décharge obscure*. Ainsi, si l'on écarte l'une de l'autre deux tiges métalliques entre les extrémités desquelles passe la décharge dans de l'air raréfié, on voit une lueur continue sur le bout de la tige négative, tandis que l'extrémité positive reste tout à fait obscure. A mesure que la distance augmente, une traînée de lumière pourpre ou blanche paraît à l'extrémité de la tige positive, et s'avance directement sur la tige négative; elle s'allonge, mais cependant sans joindre jamais la lueur négative, de sorte qu'il y a toujours entre elles un petit espace obscur (fig. 215.). Cet espace, large

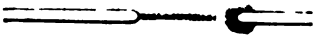


Fig. 215.

de 1 à 2 millimètres environ, demeure invariable dans son étendue et dans sa position par rapport à la pointe négative; la lueur négative ne change pas non plus, tandis qu'on voit la lumière pourpre de la pointe positive s'allonger ou se raccourcir à mesure qu'on fait varier la distance des deux pointes. Un effet du même genre se présente dans tous les gaz; seulement il faut éloigner plus ou moins l'une de l'autre, suivant la nature des gaz, les extrémités des deux tiges, pour avoir la décharge

re. En général, la position de l'espace obscur est con-
, et on peut s'assurer, en examinant avec soin le phéno-
, que cet espace existe entre la lueur positive et la lueur
ive, lors même que, par la forme concave de la première
et convexe de la seconde, il est difficile à observer. Cette
ience montre que la décharge peut être transmise à tra-
n gaz sans le rendre nécessairement lumineux.

raday, qui a beaucoup étudié cette question, estime que la
rge obscure a lieu à une très-faible tension, et qu'après
le a commencé, la lumière est la conséquence de la plus
le quantité d'électricité qui se précipite par la même route,
ent dans cette direction un passage plus facile.

peut obtenir la décharge sous forme de lueur et la
rge obscure d'une manière très-prononcée, par les étin-
que produisent les appareils d'induction, notamment
le Rumkorff[1]. Il suffit de faire communiquer respective-
les deux extrémités du fil induit avec les boules de l'ap-
dit œuf électrique (fig. 212), pour obtenir, en raréfiant
les lueurs de toute beauté autour des deux boules, avec
lant quelques différences à la boule négative et à la posi-
l. Rumkorff, qui a répété en les variant les expériences de
asson et Breguet, a remarqué que la lumière qui entoure
ule et la tige négative est violette, et que celle qui est
de la boule positive est d'un rouge de feu, et qu'elle s'é-
ur la boule négative. Il jaillit aussi ainsi des deux boules
nes étincelles plus blanches et distinctes des lueurs qui
nnent probablement, comme on le verra, de particules
iques détachées des boules. M. Gassiott a observé que,
e le vide est bien fait, la moitié de la boule négative est
rée d'une flamme brillante bleue, tandis qu'il s'échappe de
ule positive un filet de lumière brillante et rouge; mais il
stre le filet rouge et la flamme bleue un espace complète-
sombre.

Quet, de son côté, a découvert que la double lumière
nane des deux boules se compose d'une suite de couches

me I, page 395, fig. 150.

brillantes entièrement séparées les unes des autres par
couches obscures, et qu'elle est comme stratifiée. Pour
observer ce phénomène de stratification, il suffit de la pré
dans le vide fait dans l'œuf électrique, d'une très-petite q
tité d'alcool[1], d'essence de térébenthine, de sulfure de car
ou d'huile de naphte. En faisant passer entre les boules le
rant d'induction de la machine de Rumkorff, on observe
multitude de couches brillantes séparées par des co
obscures formant comme une pile de lumière électrique
les deux pôles. La stratification est plus prononcée d
lumière rouge du pôle positif que dans la violette du né
mais le nombre des couches alternativement obscures et
lantes y est moins considérable. Il est facile, du reste, de
stater que la lumière du pôle positif est séparée de celle d
négatif par une couche obscure qu'on peut rendre pl
moins épaisse, suivant la perfection du vide et la nature
vapeur qu'il renferme.

La lumière dans ces expériences n'a pas une durée conti
elle consiste, en effet, dans une suite de décharges qui se
cèdent avec rapidité. Cela donne lieu à un mouvement co
toire des couches lumineuses qui rend les observations m
difficiles. Pour éviter cet inconvénient, M. Quet fait manœ
à la main le petit marteau magnétique de l'appareil Rum
et à chaque mouvement on obtient une émission de lumière
mais qui ne dure qu'un instant; la succession entière des cou
alternativement brillantes et obscures, se dessine ainsi avec
forme très-nette ; en renouvelant cette manœuvre à volont
peut étudier facilement les détails du phénomène.

La couleur de la lumière varie avec la nature des vap
que contient le vide; avec celle de l'essence de térébenth
on a au pôle positif une belle lumière blanche et phosph
cente, dont la stratification a lieu par couches planes,
d'épaisseurs inégales; avec la vapeur du fluorure de sili

[1] M. Rumkorff avait obtenu le premier ce phénomène de stratification,
plaçant quelques instants au-dessus d'un flacon ouvert rempli d'alcool l'ouve
de l'œuf électrique avant d'y faire le vide.

e lumière jaune au pôle négatif. Si on approche beau-
s deux boules l'une de l'autre, on finit par faire dispa-
'une ou l'autre des deux lumières; cela dépend de la
du vide; dans le vide où il ne reste que l'air très-raréfié,
lumière rouge du pôle positif qui disparaît complète-
la violette du négatif deme ıre seule.

ernier phénomène est précis ment le même que celui dési-
r Faraday sous le nom de décharge obscure. Nous venons
', en effet, que lorsque l'étincelle est produite dans l'air
et entre deux conducteurs très-rapprochés, le conduc-
ıgatif seul s'environne d'une auréole bleue, et le con-
r positif demeure obscur, tandis que dans l'atmosphère
ıx conducteurs paraissent également lumineux. L'élec-
se décharge donc du conducteur positif sans produire
ière aussi bien avec des courants d'induction qu'avec
icité d'une machine ordinaire.

avant M. Quet, M. Neef, en observant au microscope
ıge d'un courant d'induction entre une pointe de pla-
une lame oscillante du même métal au moyen d'un
il semblable à celui que nous avons déjà décrit[1], avait
u que l'électrode négatif était seul lumineux. Il avait
uvoir conclure de cette observation que l'étincelle élec-
engendre, à l'électrode négatif, de la lumière sans cha-
t à l'électrode positif, de la chaleur sans lumière. Nous
irons plus tard sur le travail de M. Neef, nous nous
ons pour le moment à remarquer que c'est toujours le
phénomène de la décharge obscure, avec cette différence
ıent, assez importante, qu'il se passe dans l'air au lieu
ıasser dans le vide. M. Riess a réussi à démontrer que la
nce est plus apparente que réelle, parce que, lorsque
ıcelles se succèdent très-rapidement dans un espace très-
ré, l'air se raréfie promptement entre les électrodes. En
n faisant varier à volonté la distance qui sépare la plaque
ointe de platine, Riess remarque que lorsque la distance
peu grande, l'étincelle n'offre rien de particulier; on a

ne I, p. 393, figure 149.

un arc lumineux continu à chaque étincelle entre la plaque
la pointe; en diminuant la distance on obtient des étinc
de plus en plus nombreuses et rapprochées; enfin, à une
tance plus petite encore, l'étincelle perd tout son éclat, e
même temps une vive lumière bleue se montre à la sur
de l'électrode négatif seulement. On aperçoit dans cette
mière bleue, en l'observant au moyen du microscope, un
tain nombre de points blancs très-brillants qui semblent être
particules de platine incandescent détachées par la décha
ce que confirme l'état de rugosité que présente la surface
la lame de platine après qu'elle a longtemps servi à
expériences. Ajoutons que M. Gassiott a observé, en empl
pour électrodes deux fils de platine distants de 2 $\frac{1}{2}$ millim.,
le fil négatif devient rouge feu, tandis que le positif reste f
dans ce cas, la décharge est très-rapide et continue. Cet
serait l'inverse de celui qu'a signalé M. Neef, et contraire
qui se passe avec les courants ordinaires. Ces oppositions
vent tenir à la difficulté qu'il y a à bien distinguer dans les
rants d'induction le pôle positif du négatif. Il ne faut pas pe
de vue non plus qu'il se passe des effets électrochimiques,
venant de la décomposition des gaz ou des vapeurs raréfiées
traversent les décharges, qui peuvent contribuer aux appar
que présente la lumière; nous les ferons connaître dans le
pitre suivant.

Après avoir étudié l'étincelle électrique, la manière dont
prend naissance et les différentes formes qu'elle affecte, il
resterait à examiner ses diverses propriétés; mais nous renve
cet examen au paragraphe 8, afin de le faire comparativ
avec celui de l'arc voltaïque, et de pouvoir ainsi, en apprécia
différences qui caractérisent ces deux formes du même p
mène, remonter à leur cause commune. Nous nous borner
dire quelques mots ici des effets calorifiques de l'étincelle,
nous avons déjà eu des exemples dans l'inflammation des
combustibles, et en particulier dans l'expérience du pi
de Volta. La chimie tire un grand parti de cette prop
de l'étincelle électrique pour déterminer la combinaison
mélanges gazeux. On les introduit dans un tube en ver

[illegible] très-fortes et graduées : ce tube, fermé à l'une de ses [illegible]mités, repose par son extrémité ouverte sur une cuve [illegible]matique remplie d'eau, ou encore mieux de mercure. [illegible] pointes de métal, ordinairement en platine, pénètrent [illegible]rieurement dans la partie supérieure du tube, aux parois [illegible]el elles sont hermétiquement scellées, de manière à laisser [illegible] elles un intervalle de 1 à 3 millimètres au plus; pour [illegible] jaillir l'étincelle à travers le mélange gazeux, on met les [illegible]s métalliques en communication, par leur extrémité exté-[illegible], avec les armures d'une bouteille de Leyde ; on porte [illegible] le feu dans l'intérieur du tube sans avoir besoin de le [illegible]r extérieurement. Le même effet peut être produit par [illegible]descence d'un fil fin de platine au moyen d'un courant, [illegible] que la combinaison est bien due à la chaleur dégagée [illegible]ien dans l'étincelle que dans le fil, et qu'elle n'est pas un [illegible] immédiat de l'électricité. Du reste, nous étudierons plus [illegible]tail dans le chapitre suivant les effets chimiques de l'étin-[illegible].

[illegible]s avons d'autres preuves de la chaleur de l'étincelle dans [illegible]ces qu'elle laisse sur les conducteurs entre lesquels elle [illegible]ppe. Priestley, qui les a découvertes, avait remarqué [illegible]les sont circulaires, et qu'elles se forment sur des plaques [illegible]lliques qui reçoivent l'étincelle sortie d'un conducteur en [illegible]e situé à 1 ou 2 millimètres de distance. Nobili, qui les a [illegible]iées avec soin sur différents métaux, a montré qu'elles sont [illegible] à la chaleur interne, et même à un commencement de [illegible] qu'éprouvent ces métaux. La forme circulaire qu'elles [illegible]ent est liée à la forme semblable de l'aigrette et tient à la [illegible]mination des filets électriques.

[illegible]lgré ces preuves évidentes de la haute température de [illegible]celle, M. E. Becquerel n'a pu y découvrir de traces de cha-[illegible] rayonnante, ce qui tient surtout à son instantanéité. C'est [illegible]i fait également qu'elle ne peut pas, dans les conditions [illegible]aires, enflammer certains corps très-combustibles qui, [illegible]e la poudre à canon, exigent pour prendre feu l'applica-[illegible] de la chaleur pendant un temps qui ne soit pas trop court. [illegible] en peut réussir à produire cette inflammation en obligeant

la décharge à passer à travers un conducteur imparfai diminue la rapidité et augmente ainsi la durée de l'é par exemple, à travers un fil humecté d'eau. Avec un verre de 16 centimètres de longueur et de 8 millimètre mètre, fermé à ses deux bouts par des bouchons au tra quels on fait passer des fils métalliques pour con décharge dans le liquide dont on remplit l'intérieur d on remarque que si ce liquide est de l'eau pure ou de l' faut charger une bouteille de $0^m,1$ de surface, jusqu' l'électromètre pour enflammer la poudre par la décha bouteille, jusqu'à 30° seulement si le liquide est de l'a qu'avec des acides l'inflammation n'a plus lieu, lors mê charge jusqu'à 80°. Les différences tiennent à ce que l'é pour produire son effet, doit avoir à la fois et une certai sité et une certaine durée, éléments inverses l'un de l' dont la valeur relative dépend de la conductibilité plus grande des liquides.

Indépendamment de la lumière et de la chaleur, l' électrique développe dans certains corps, en les trave phosphorescence, c'est-à-dire la propriété de paraître l dans l'obscurité, lors même qu'ils ne l'étaient pas aup De tous les corps, les écailles d'huître calcinées sont deviennent le plus facilement phosphorescents, quand été placés sur la route de la décharge électrique. Ce bien d'autres substances, telles que le spath-fluor, le le marbre blanc, jouissent de la même propriété de deve phorescents après l'action de quelques décharges. Tou seule lumière des étincelles peut produire le même e qu'il soit nécessaire que la décharge traverse les corps; que nous étudierons dans le paragraphe 8, où nous no perons de la lumière électrique dont nous verrons que phorescence n'est, au fond, qu'un cas particulier.

§ 7. Effets calorifiques et lumineux des courants élec travers les conducteurs imparfaits. — Arc voltaïq

L'électricité voltaïque peut donner naissance, com des machines, à des étincelles électriques; mais en gé

lles se manifestent quand on met en contact, ou, encore t, quand on sépare les fils ou les lames métalliques qui nniquent avec les deux pôles de la pile; c'est plus un nène d'ignition voltaïque qu'une véritable étincelle élec- ; il semble provenir de l'échauffement qu'éprouvent les points en contact des deux fils métalliques, à cause de la rande résistance que le cou ant rencontre dans cette partie cuit. En effet, quand on réunit bout à bout, en les atta- par de simples boucles les uns aux autres, plusieurs fils liques, c'est toujours à leurs points de contact que l'in- scence se manifeste d'abord pour se propager de là dans le des fils. Nous avons déjà parlé dans le paragraphe 2 énomènes d'ignition ou de déflagration que présentent ers métaux; nous ajouterons simplement que la produc- es étincelles voltaïques est accompagnée d'un pétillement semblable à celui des étincelles électriques, et qu'elle a ans l'air raréfié comme dans l'air ordinaire, seulement quelques différences d'apparence chez les métaux oxyda- qui tiennent à ce que la combustion y est moins vive.

y réussit le premier à obtenir les étincelles voltaïques les liquides en fermant le circuit au moyen de deux petits aux de charbon. On voyait jaillir de vives étincelles, et il it en même temps abondante production de gaz; les ex- tés du charbon paraissaient d'un rouge blanc quelque encore après le contact. Le liquide était indifféremment au, des huiles fixes ou volatiles, de l'éther, de l'alcool, cides nitrique et sulfurique; les gaz qui étaient produits cette action variaient avec la nature des liquides. C'était décomposition provenant plus de l'action directe de la ur dégagée au point de contact des deux pointes de char- que de l'action décomposante du courant qui ne traversait près pas le liquide, puisque les deux morceaux de char- taient en contact. Nous reviendrons, dans le chapitre sui- sur cet effet chimique de l'étincelle voltaïque, qu'il ne pas confondre avec l'action décomposante directe du nt.

Marianini a étudié longtemps après Davy la production

des étincelles voltaïques dans les liquides, mais il l'a fait
des conditions très-différentes. C'était en se servant d'une
très-faible et d'un tube en forme de syphon renversé,
lequel était du mercure qui s'élevait en deux colonnes dans
branches verticales du tube, sans les remplir. Dans l'un
tubes plongeait un fil en communication avec l'un des
de la pile; dans l'autre, le fil communiquant avec l'autre
plongeait dans un liquide tel que l'eau ou tout autre placé
dessus de la couche de mercure. L'épaisseur de la couche
quide que l'étincelle pouvait traverser était très-petite,
demi-millimètre au plus; sa production était facilitée par
mouvement oscillatoire particulier que le mercure éprouve
moment où le circuit est fermé, et ce mouvement, en se
nuant, produisait une succession d'étincelles. La nature
fils métalliques qui ferment le circuit est sans influence
phénomène. Il n'en est pas de même de la nature du liq
dans lequel jaillissent les étincelles. Ce sont les moins con
teurs qui favorisent en général leur production. On peut
les faire paraître à travers de l'huile en ayant soin d'enf
le fil jusqu'à son contact avec le mercure, et de le retirer en
vivement; c'est à ce moment que l'étincelle a lieu en tra
sant la mince couche d'huile. En soulevant le fil et en l'ab
sant ainsi jusqu'à lui faire toucher le mercure, on obt
chaque fois une étincelle. Avec l'eau et l'alcool, les effets
semblables; seulement, la production de l'étincelle dans l'h
est accompagnée d'un bruit particulier qui n'a pas lieu avec
deux autres liquides. M. Marianini avait encore remarqué
la couleur des étincelles est la même dans les liquides que
l'air, et que les circonstances les plus favorables à leur
duction sont aussi les mêmes dans les deux cas; qu'ainsi
se montrent plus facilement entre deux pointes de char
qu'entre deux pointes métalliques.

Indépendamment de ces petites étincelles, plus ou moins
discontinues et ne se manifestant qu'au contact ou qu'à
très-petites distances[1], l'électricité voltaïque peut donner

[1] M. Gassiott a, au moyen d'une pile de 3,500 petits couples cuivre et zinc

un phénomène lumineux du même genre, mais bien
arquable, tant par son intensité que par sa continuité.
phénomène de l'arc voltaïque découvert par Davy.
stre chimiste se servit, pour l'obtenir, d'une pile de
uples, zinc et cuivre de 32 pouces carrés [1] de surface
présentant ainsi une surface totale de 128,000 pouces
chargés avec de l'eau acidulée. Ayant terminé les con-
s qui aboutissaient à chacun des pôles par deux mor-
e charbon longs de 3 centimètres environ et de 5 à
ètres de diamètre, il plaç leurs extrémités taillées en
une distance d'un millimètre à peu près l'une de
t il vit paraître une étince le brillante en même temps
charbons devenaient incandescents dans la moitié de
gueur. Il réussit à écarter les charbons l'un de l'autre
une distance de plus de 11 centimètres sans faire cesser
mène qui se manifestait comme une gerbe continue de
sant de l'une des pointes de charbon à l'autre en forme
nvexe en dessus, probablement à cause du courant
nt d'air chaud. Lorsqu'on introduisait dans cet arc une
e quelconque, elle devenait incandescente; le platine
ait comme la cire à la flamme d'une chandelle; le
a magnésie, la chaux, tout ce qu'il y a de plus réfrac-

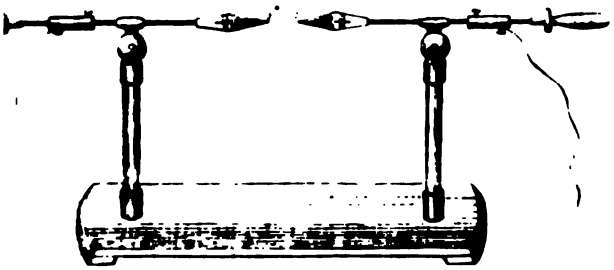


Fig. 216.

ntraient en fusion. Des fragments de diamant, des

au pure, obtenu, entre deux disques de laiton distants de $\frac{1}{8}$ millimètre
une série d'étincelles semblables à celles de la machine électrique.
entimètres carrés.
00 centimètres carrés.

pointes de charbon et de plombagine, disparaissaient rapi-
ment et semblaient s'évaporer dans ce foyer sans paraître
de fusion préalable.

Pour produire ce phénomène on se sert d'un app
(fig. 216) dans lequel deux tiges métalliques mobiles, da
sens horizontal comme celles de l'excitateur universel,
portées sur deux supports verticaux isolants; les tiges
munies chacune d'une pince destinée à recevoir les pointe
charbon, et sont mises respectivement en communication
moyen de conducteurs, avec les pôles de la pile. Des ma
de verre ou de bois permettent d'éloigner ou de rapproch
volonté les deux pointes l'une de l'autre. Quand on veut
duire l'arc voltaïque dans le vide ou dans l'air très-raréfié
se sert d'un appareil (fig. 217) formé d'un globe de ver

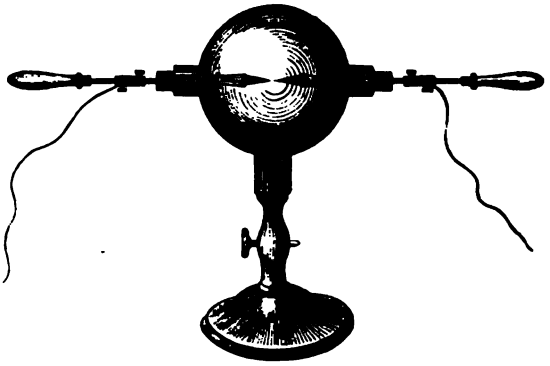


Fig. 217.

pénètrent, à travers deux boîtes à cuir placées sur le
diamètre horizontal, les deux tiges munies des pointe
charbon. Un robinet, fixé au tube métallique qui sert de
port au ballon, permet d'y produire et d'y maintenir de
très-raréfié, et au besoin d'y introduire différents gaz sou
pressions plus ou moins fortes.

Davy avait déjà remarqué que le phénomène de l'arc
taïque se produit dans le vide aussi bien et même mieux
dans l'air, preuve que la combustion qui l'accompagne
l'air n'est point la cause de la chaleur et de la lumière qui

ppent. Il réussit même, en éloignant les pointes, à donner : dans le vide une longueur de 16 à 18 centimètres, -dire presque double de celle qu'il avait dans l'air; du la lumière était tout aussi vive et la chaleur tout aussi :ar le charbon était fortement incandescent; du platine se fondait avec une scintillation brillante et tombait en es au fond du ballon.

gtemps après la brillante expérience de Davy, le professeur nn, en la répétant avec une pile à couples cylindriques cteur Hare, nommée par lui déflagrateur, observa des nènes moléculaires très-remarquables. Il faisait commer de la plombagine avec le pôle positif et un morceau rbon bien recuit avec le pôle négatif. On apercevait t des globules de plombagine fondus et une excavation bérique sur la plombagine elle-même, tandis que le n était allongé du côté de la plombagine, et la matière qui s'y amoncelait présentait l'apparence de fusion, non bules, mais en fibres striées. Cette matière provenait ment de la plombagine du pôle positif, qui avait été ortée dans l'état de vapeur au pôle négatif. En renver- s pôles, on ne voyait se former que très-peu de globules plombagine et aucun sur le charbon; mais ce dernier apidement creusé; la plombagine, au contraire, s'al- it par la matière qui s'accumulait à son extrémité, et ue au moyen du microscope, présentait une agrégation tites sphères avec le caractère d'une parfaite fusion et n éclat métallique prononcé. Les sphères semblaient être es par la condensation d'une vapeur blanche, semblable e des oxydes provenant de la combustion de différents ıx. Les globules eux-mêmes, chauffés fortement dans le xygène, donnaient de l'acide carbonique et un résidu de tirable à l'aimant. M. Sillimann avait cru trouver quelque gie entre ces substances charbonneuses fondues et le dia-, mais les globules dont il s'agit rayent seulement le , sont attirables à l'aimant et n'éprouvent aucune alté- dans l'oxygène à la plus haute température, tandis que mant ordinaire n'est point attirable, raye tous les corps

et brûle dans l'air à une chaleur rouge. Il est donc très-p bable que les premiers tiennent de la nature des scories pro nant du fer que renferme la plombagine[1].

Quant au passage de la matière d'un pôle à un au M. Sillimann l'a très-bien observé. En protégeant ses yeux un verre vert, il voyait distinctement la matière passer différentes formes au pôle négatif et s'y rassembler co l'aurait fait de la poussière poussée par le vent; il remar aussi au pôle positif une espèce de trépidation produite co par l'impulsion d'un fluide élastique frappant contre le opposé. J'ai observé moi-même ce dernier phénomène avoir besoin d'une pile bien forte; une pile de Grove de couples est suffisante. Il faut fixer les deux pointes de ch à deux tiges métalliques recourbées en équerre, et assez tiques pour que les deux pointes puissent être en contact leurs deux extrémités, sans qu'il y ait la moindre pressi l'une contre l'autre. Aussitôt que le courant est établi, la lu jaillit entre les pointes, et l'on entend comme une série rapi petites détonations qui, en se communiquant du charbo métal, font vibrer ce dernier de manière à produire un s même à rendre les vibrations sensibles au contact. Ce bru provient ni des attractions ou répulsions électriques, ni frottement qui aurait lieu entre les pointes, car il est le m avec le charbon le plus mou, comme du charbon de peup qu'avec deux pointes du charbon le plus dur, tel que qu'on recueille des cornues à gaz. C'est une espèce de cra ment régulier qui s'opère entre les molécules du cha traversé par le courant, et qui est lié avec l'arrachement transport de ces molécules. On n'entend plus ce bruit q

[1] Cependant M. Despretz est parvenu, en se servant comme électrode n d'une espèce de pinceau formé de fils fins de platine et d'un fragment de ch très-pur pour électrode négatif, à obtenir par la formation de l'arc entre ces électrodes des points très-brillants aux extrémités des fils de platine, qui la lampe, essayés par des joailliers, ont présenté toute l'apparence de petits ments de diamant. Il a également réussi à s'en procurer de semblables en plaçant le charbon solide par un hydrogène carboné liquide. Nous y revien quand nous nous occuperons des effets chimiques de l'électricité dynamiq

place les pointes de charbon par de l'éponge de platine, dans ce cas il y ait comme avec le charbon, ainsi que suis assuré, un transport de particules du pôle positif tif. Ces particules forment, par leur réunion, comme ces de ramifications que la haute température produite ourant rend incandescentes et consolide par la fusion, ère qu'on peut les détacher facilement sans altérer leur

it, par ce dernier exemple, que l'arc voltaïque peut luit, non pas seulement entre deux pointes de charbon, ssi entre deux conducteurs métalliques tels que du spongieux; il n'est pas même nécessaire que le métal t d'éponge. Ainsi on peut l'établir entre deux pointes ne forgé, mais alors il est moins long, et il exige une forte pour sa production.

arence et la longueur de l'arc varient considérablement nature des électrodes entre lesquels il se manifeste. vec le charbon de bois bien recuit et trempé dans a lumière est beaucoup plus vive, surtout plus blanche du coke; mais ce charbon exige une pile à plus forte Daniell, avec une pile de 70 couples cuivre et zinc avec du sulfate de cuivre et de l'eau aiguisée d'acide ue, obtint un arc très-brillant, soit avec deux pointes arbon, soit avec une pointe de charbon et une pointe ne. M. Despretz, dans une série de belles expériences vec une pile très-forte, avait trouvé des longueurs iables pour l'arc, suivant le nombre et la disposition ples de Bunzen, qui étaient ceux dont il faisait usage. isait l'arc dans l'air, mais en le renfermant dans une verre, ayant observé que l'agitation de l'air le dérange p. Il fixait les pointes de charbon, qui étaient de coke iblement préparé, à l'extrémité de tiges de cuivre d'un

mplois quelquefois le charbon de bois trempé dans du mercure; on peut arbon produire l'arc avec une pile beaucoup moins forte, mais la lu- est moins brillante, et il se forme des vapeurs de mercure qui troublent rne.

centimètre de diamètre; l'arc était vertical. Voici ses l
gueurs : 25 couples, 25^{mm}; 100 en séries parallèles de
183^{mm},9; 24 séries de 25, 11^{mm},5; les 600 à la suite les uns
autres, 162^{mm}. Pôle + en bas 56^{mm}, pôle + en haut 7
M. Despretz a toujours observé dans l'arc quelques p
obscures. Enfin il a fait des observations curieuses sur la
dure très-puissante qui a lieu entre les bâtons de charbo
forment l'arc quand on les met en contact, surtout entre
qui ont été préparés en calcinant du sucre candi.

En général, pour obtenir l'arc, il faut commencer par m
les deux pointes en contact; puis, quand le point de conta
devenu incandescent, on écarte graduellement les deux
trodes. Cependant Daniell a réussi à déterminer l'arc
mettre préalablement les électrodes en contact, uniquem
faisant passer entre eux une forte étincelle électrique. C
qui fait qu'avec des piles à très-haute tension, qui p
donner une étincelle à distance, on obtient l'arc entre
pointes sans avoir besoin de les faire toucher.

Fizeau et Foucault, en opérant avec une pile de 80 co
de Bunzen, dont l'un des électrodes était de charbon et l'
une tige métallique d'argent ou de platine, ont remarqu
différences dans la longueur de l'arc et dans sa durée, selon
le métal ou le charbon communiquent avec le pôle négat
le pôle positif.

M. Grove avait déjà observé que la longueur de l'arc e
éclat dépendaient de la nature des métaux entre lesquels i
produit, les deux électrodes étant dans chaque cas du m
métal. Voici l'ordre dans lequel il les avait classés sous ce
port, en commençant par ceux qui donnent l'arc le plus
et le plus brillant, et en supposant que le phénomène ait
dans l'air : potassium, sodium, zinc, mercure, fer, é
plomb, antimoine, bismuth, cuivre, argent, or et pla
M. Grove avait remarqué également qu'une partie de
substance d'où s'échappe l'arc lumineux est projetée du
positif au négatif, et qu'elle est à l'état de poudre métallique
le milieu ambiant est le vide, l'hydrogène ou l'azote, et à l'
d'oxyde dans l'oxygène ou dans l'air.

tefois, le fait du transport olécules du pôle positif gatif n'est point aussi géné al on l'a cru longtemps. a Breda, en opérant dans le vide et en déterminant l'arc que sans mettre préalablem t les électrodes en contact, a moyen d'une forte déch ge électrique, a obtenu un ort dans les deux sens également, suivant la nature re- des deux métaux entre lesquels l'arc s'échappe. Avec oules de fer, il a trouvé qu'après l'expérience la boule e avait perdu 309 milligrammes, et la négative, a d'avoir gagné, en avait aussi perdu 55. Avec une de fer et un cône de coke préparé comme le coke qui ix piles de Bunzen, le fer perdait à peu près autant, it positif ou négatif, et le coke perdait plus dans le r cas que dans le second. Une expérience qui prouve u'il peut se faire une émanation de particules des deux galement, quoique plus forte du positif au négatif que gatif au positif, consiste à placer entre deux boules de servant d'électrodes une lame de fer épaisse et isolée. rience a lieu dans le vide, et l'arc est déterminé par une ge électrique. La boule positive gagne en poids 63 milli- es, et la négative 360; toutes les deux sont recouvertes lécules de fer qui proviennent de la plaque. Il semble que la matière est repoussée en même temps des deux ou plutôt qu'il existe une répulsion entre les particules iques qui conduisent le courant[1].

moi-même étudié la formation de l'arc voltaïque en rant des électrodes de différents métaux, soit tous les aillés en pointe, soit l'un seulement en pointe, l'autre la forme d'une plaque. Pour mesurer avec soin la lon- de l'arc, je me suis servi de deux appareils, l'un destiné esurer dans l'air, l'autre à le mesurer dans le vide ou

s avons vu effectivement que d'après les lois d'Ampère, tome I, page 225, s portions d'un même courant se repoussent, et cette répulsion qui se e sous la forme d'un simple mouvement, quand une partie du courant le, doit pouvoir donner lieu à une séparation ou désagrégation des parti- nand le conducteur, n'étant mobile dans aucune de ses parties, le courant nergique.

dans différents gaz. Ce dernier appareil aurait pu servir, à la rigueur, aux deux usages, mais j'ai préféré en avoir un dans lequel l'arc pût être produit à l'air libre.

Le premier des appareils (fig. 218) se compose d'une rainure portant sur un de ses côtés une division linéaire, dans laquelle

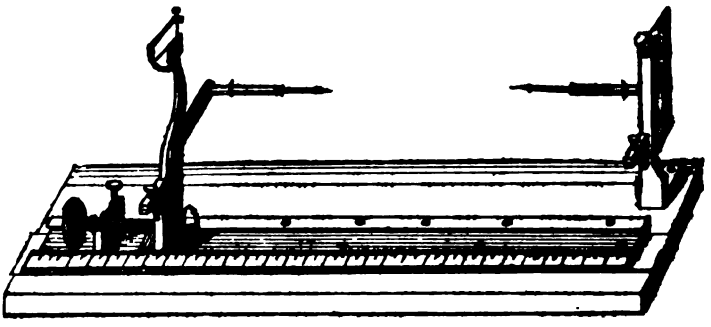


fig. 218

glisse à frottement juste un support métallique qui porte une pince horizontale à laquelle on peut ajuster des pointes conductrices de différente nature; une vis micrométrique permet de mesurer avec beaucoup d'exactitude la quantité dont on fait avancer ou reculer le support, et, par conséquent, la pointe qu'il porte. A l'une des extrémités de la rainure est un support métallique fixe auquel on adapte ou une pointe semblable à la première, ou une plaque conductrice, de façon qu'on peut faire jaillir l'arc ou entre deux pointes, ou entre une pointe et une plaque. Les divisions de la vis micrométrique permettent de mesurer très-exactement la distance entre les deux pointes ou entre la pointe et la plaque, et, par conséquent, la longueur de l'arc. Le second appareil (fig. 219) se compose d'une cloche qu'on place sur la platine d'une pompe pneumatique pour y raréfier l'air et y introduire, si on le veut, un gaz quelconque au moyen du robinet adapté à l'ajustage, qui, situé au haut de la cloche, porte lui-même une boîte à cuir, que traverse une tige métallique à l'extrémité de laquelle est une pince destinée à recevoir une pointe métallique. Cette tige peut être abaissée

e d'une quantité qu'on mesure très-exactement au 'une division circulaire tracée sur la circonférence ue qui se meut avec la tinée à faire monter ou la crémaillère dont la nunie. Un support mé- fixe est placé au bas che; il porte ou une erticale ou une plaque ale, de manière que l'arc établir avec cet appa- me avec le précédent, deux pointes, ou entre te et une plaque.

Fig. 219.

pris pour l'un des élec- ne lame de platine, je s successivement pour lectrode, de pointes ente nature. Avec une platine l'arc est très- artout si la pointe est le négatif. Dans l'air 3 ou 4 millimètres, on it éloigner la pointe de 1 millimètre de la pla- que l'arc se rompît. ence était faite avec une pile de Grove de 50 couples, nt chargée. Avec la même pile fortement chargée, il t sur la plaque de platine servant toujours d'électrode ne tache bleuâtre parfaitement circulaire; elle se re- galement dans l'air sous la pression ordinaire, mais alors un diamètre moitié moindre. Dans l'hydrogène forme point, preuve que sa production est le résultat rdation. Quand la lame de platine sert d'électrode né- e se recouvre également d'une tache circulaire, mais ne est formée par une foule de petits grains de platine blanche; elle est comme la bleue, beaucoup plus large

dans l'air raréfié que dans l'air ordinaire. Quant à la pc
platine, elle devient bien vite fortement incandescente
elle est positive; son extrémité entre en fusion et finit par
sur la plaque en y formant un globule parfaitement sp
tandis que lorsqu'elle est négative elle s'échauffe peu et
point; par contre, la plaque, qui est alors positive,
rouge blanc, et risque d'être trouée si elle n'est pas très-
Quand on remplace la pointe de platine par une pointe
on obtient, la lame restant de platine et positive, un a
longueur double de celui qu'on avait avec la pointe de
L'arc lui-même, au lieu d'être comme auparavant,
de lumière ayant sa base sur la lame et son somm
pointe, se compose d'une foule de jets lumineux pa
différents points de la lame pour aller aboutir à d
points du coke; enfin la chaleur développée sur la p
platine est tellement plus considérable, que la plaque
dement fondue et trouée. La pile est, dans ces exp
exactement de même force que lorsque la pointe est d
au lieu d'être de coke. On voit bien par là l'influence
rable qu'exerce l'électrode négatif, dont le rôle est lo
purement passif, puisqu'il suffit de changer sa nat
modifier d'une manière aussi notable tous les détails d
mène. Lorsque le coke est positif et la lame de platine
l'arc est moins long, surtout dans l'air où il est sens
plus court que dans le vide; mais la pointe de coke se
considérablement et devient rapidement incandesce
toute son étendue.

En employant successivement comme électrodes l
cuivre, l'argent et l'argentane, on observe, lorsque
électrodes est une pointe et l'autre une plaque du mêm
que la pointe est incandescente dans toute sa longue
est positive, et qu'elle ne se réchauffe qu'à ses extrémit
est négative. Quant aux plaques, elles présentent de
très-prononcées entourées de cercles colorés, quand
servi d'électrodes positifs dans l'air raréfié. Avec le mer
pour un des électrodes, l'effet lumineux est des plus b
le mercure est dans un état d'agitation extrême, se s

e de cône quand il est positif, et présentant une cavité
ous de la pointe positive quand il est négatif.
int important à signaler, c'est la différence qui existe
température qu'acquièrent les deux pointes entre les-
e forme l'arc voltaïque, selon qu'elles sont de même
ou de nature différente. Lorsqu'elles sont de même
c'est toujours la pointe positive qui devient seule in-
nte dans toute son étendue; si elles sont de nature
e, c'est la moins conductrice qui s'échauffe, aussi bien
lle est négative que lorsqu'elle est positive. Ainsi, si
positive est d'argent et la négative de platine, c'est
qui devient incandescente, et celle d'argent s'échauffe
p moins. Les choses se passent donc comme dans un
complétement fermé; ce sont les portions du circuit
ntent le plus de résistance au courant qui s'échauffent
d'abord la portion qui forme l'arc lui-même, ensuite
le moins conducteur. Mais quand de part et d'autre
les conducteurs sont identiques, le réchauffement, au
tre uniforme, est beaucoup plus considérable pour le
sitif, phénomène qui, rapproché de la désagrégation
eu du même côté, semble indiquer que l'électrode po-
ouve de la part du courant une action beaucoup plus
ue que l'électrode négatif.
atteucci, en faisant plonger pendant un certain temps
x pointes entre lesquelles l'arc est établi dans des
d'eau séparées et prises à la même température, a
que la différence de température entre les deux pointes
tant plus grande que celles-ci sont formées d'une ma-
oins conductrice et plus facile à se désagréger. Mais ce
a d'assez curieux, c'est que dans le gaz hydrogène la
ce devient très-petite, ce qui tient probablement à la
ause qui diminue la chaleur d'un fil de platine traversé
courant quand ce fil est entouré d'hydrogène, c'est-à-
pouvoir refroidissant de ce gaz, qui augmente la con-
ité de la partie du circuit qui y est plongée. Du reste, cet
ement inégal peut avoir lieu par le simple contact des
onducteurs; seulement la différence est d'autant plus

grande que le contact est moins intime; on la diminue rant fortement les deux conducteurs l'un contre l'au l'augmente au contraire, en couvrant l'une des surfaces tact d'une couche légère d'oxyde, de graphite ou de p de charbon; on facilite encore la formation de l'arc en ch artificiellement l'électrode positif.

M. Tyrtow, en employant le mercure pour l'un des éle et en se servant pour l'autre de fils de différente natur marqué que toutes les fois que le mercure est négatif positif, ce dernier rougit et fond quand on met son e en contact avec le mercure, tandis que lorsque le fil est et le mercure positif, au moment du contact on ne vo raître que des étincelles bleuâtres, mais le mercure alors une forte évaporation. Des expériences semblables faites par divers physiciens en remplaçant le mercure liquides décomposables; mais alors les effets lumineux rifiques se compliquent de phénomènes électro-chimique nous en renvoyons l'étude au chapitre suivant.

C'est encore à la différence de température des de trodes qu'on doit attribuer l'expérience curieuse de Gassi laquelle, en mettant en croix deux fils métalliques, de cu exemple, qui communiquent avec les pôles d'une forte voit le fil positif rougir sur une longueur de 5 à 6 centi en dehors du point de croisement, jusqu'à tomber en tandis que le négatif n'est incandescent que dans la traversée par le courant. Il est évident qu'il y a ici, au p contact, un commencement de formation d'arc voltaïqu tant mieux qu'en éloignant un peu les deux fils l'un de l'arc apparaît entre eux. Le conducteur positif est donc le trode positif de l'arc, et en cette qualité il s'échauffe be plus que le négatif, ce qui fait qu'il est incandescent no ment dans la portion qui est parcourue par le courai même en dehors de cette portion sur une petite étendue

Ainsi que l'a observé M. Matteucci, l'arc se compose néral d'une partie centrale presque cylindrique, dont l s'appuient sur les extrémités polaires, et qui brille d'une l blanche et très-intense; cette partie est enveloppée d'une

use plus rare, d'une forme sphéroïdale, dont la couleur avec la nature des pointes d'où émane l'arc et avec celle ou qu'il traverse. La partie centrale se compose d'une ma- ns laquelle le courant électrique se propage comme dans ucteur liquide; il suffit pour s'en assurer d'y plonger les ts de deux fils de platine sortant de deux tubes de verre aux extrémités d'un galvanomètre. Au moment où les atine parviennent à la partie centrale de l'arc lumineux, tion de l'aiguille du galvanomètre indique la présence t courant dérivé. Du reste, il suffit d'introduire un vol- dans le circuit de l'arc voltaïque pour s'assurer que le s'y propage d'une manière continue. On peut même, ndications du voltamètre, apprécier la résistance oppo- es arcs produits avec des pointes de différente nature des distances variables. Ainsi, en opérant avec une pile uples de Grove, on trouve que le courant, par son pas- ns le voltamètre pendant 60 secondes, y dégage des s de gaz égales à 57, 44 et 38 centimètres cubes pour ances correspondantes entre les deux pointes de coke , à 2, 3 et 4 millimètres. Avec deux pointes d'ar- ni s'altèrent moins promptement que celles de charbon, nt 60 centimètres de gaz à 3 millimètres de distance s pointes, et 46 centimètres à 6 millimètres de distance. s pointes de métaux différents formant des arcs lumi- 3 millimètres de longueur, on trouve au voltamètre, nt passer le courant pendant 60 secondes, 23 centimètres les pointes sont en cuivre, 26 si elles sont en laiton, 27 sont en fer, 29 si elles sont en coke, 35 si elles sont en 45 si elles sont en étain. Quand les pointes se touchent n'a point d'arc, on a 46 centimètres cubes. Il résulte évi- nt de là que la conductibilité propre de l'arc dépend le la conductibilité des métaux qui forment les pointes leur facilité à se fondre et à se désagréger, et par consé- le la quantité de matière qui disparaît dans l'expérience. n place une lame métallique entre les deux pointes de qu'elle se trouve au milieu de l'arc, dont on provoque ation par une étincelle électrique, on remarque que la

partie centrale de la lame commence par entrer en fu
des globules s'élancent des deux côtés vers les pointes
temps que des globules semblables s'élancent des poi
la lame; la partie intérieure de l'arc qui lui donne
sphéroïdale paraît être produite par la matière encor
visée qui résulte de la destruction et de la combusti
globules; quand on produit l'arc dans un liquide, o
point cette matière volatisée et divisée, vu qu'elle
dans le liquide; on n'aperçoit que la partie centrale
au contraire est moins distincte avec les pointes de c
cause de leur grande facilité à se désagréger.

Il semblerait que la formation de l'arc résulte des é
triques contraires que possèdent les extrémités polai
que le circuit soit fermé, qui peuvent se manifester p
traction et une étincelle[1], et qui subsistant, l'arc une fi
déterminent, à une certaine distance toujours très-pe
les pointes, une série d'étincelles et une chaîne d
fondue ou de particules incandescentes détachées d
Ce même phénomène doit bien exister dans toutes l
du circuit, puisque c'est ainsi qu'a lieu la propagatio
rant, mais il produit des effets mécaniques dans les p
ce circuit, telles que celles où l'arc voltaïque se manif
lesquelles la résistance est plus grande et la distance
cules plus considérable.

La forme sphéroïdale de l'arc résulte, comme le pl
qu'on produit avec l'étincelle de la machine dans l'exp
l'œuf électrique, de la répulsion mutuelle des parties

[1] M. Gassiott avait obtenu, comme nous l'avons vu, avec une p
couples zinc, cuivre et eau des charges électriques assez fortes aux e
laires pour donner pendant plusieurs jours de suite des des étincell
$\frac{1}{2}$ millimètre de distance et se succédant très-rapidement. M. Matteu
communiquer les pôles d'une pile de Growe de 50 à 60 couples av
de laiton portant chacune à leur extrémité une feuille d'or batt
attraction entre ces feuilles se manifester à quelques centimètres
et si on rapproche beaucoup l'une de l'autre ces deux feuilles rendues
on les voit, au moment où l'arc ferme le circuit, s'attirer; en mém
étincelle éclate, et le plus souvent l'arc lumineux s'établit.

ıme extrémité polaire jointe à l'attraction exercée sur elles
tre pôle. On peut même voir, en faisant passer une série
lles entre deux pointes métalliques plongées dans de
ı de térébenthine qui tient en suspension des particules
s de liége ou de charbon, ces particules se grouper en-
pointes en formant une masse de forme sphéroïdale,
e de filets qui vont d'une pointe à l'autre, et dont cha-
formé par une chaîne de ces molécules entre lesquelles
ıs étincelles éclatent. Nous avons déjà vu dans le cha-
mier de cette partie que la distribution des courants dans
ıse liquide conductrice semble s'y faire sous forme de
outissant aux deux pôles et formant entre eux un sphé-
ous en verrons de nouvelles preuves quand nous nous
ons des effets chimiques du courant.
ménomène qui est de nature à confirmer ce que nous
lit sur la nature de l'arc voltaïque est l'influence
e sur lui le magnétisme. Arago avait soupçonné cette
e immédiatement après la découverte d'Oersted; Davy
ata bientôt après, en approchant un puissant aimant
: voltaïque formé par deux pointes de charbon et long
0 centimètres, suivant le degré de raréfaction de l'air
.. L'arc, soit colonne lumineuse, était attiré ou repoussé
mouvement rotatoire, suivant la position du pôle de
. et la direction du courant. L'action était plus éner-
ıand l'air, à travers lequel l'arc était produit, était plus
t par conséquent l'arc lui-même plus étendu.
ployant un électro-aimant au lieu d'un aimant, l'effet
coup plus prononcé, et on peut même rompre l'arc en
cesser par une attraction ou répulsion trop forte la
les particules qui établissent la communication entre
. pôles et qui forment le conducteur mobile sur lequel
'orce magnétique. M. Quet, en déterminant un arc vol-
ertical perpendiculairement entre les deux faces polaires
s d'un électro-aimant, a vu cet arc se transformer en
horizontal, comme celui qu'on produit en soufflant sur
ıme avec un chalumeau. Ce dard peut atteindre une
r 8 à 10 fois plus grande que l'arc, de 3 à 4 centimètres

par exemple, lorsque celui-ci n'a que 4 millimètres. On des particules de charbon être lancées par l'action de l'élec aimant dans la direction du dard, quand les charbons sont candescents en deçà des pointes même d'où émane l'arc changement de direction du dard, quand on change le sens courant ou les pôles de l'électro-aimant, indique bien que effet tient à l'action répulsive de l'un des pôles magnéti combinée avec l'action attractive de l'autre, sur le courant est transmis par l'arc. C'est ce que confirme la forme co qu'il prend dans le sens du dard, quand les pôles de l'élec aimant sont trop éloignés pour que le dard lui-même puis former. Ajoutons que sa formation est accompagnée d'un b sement particulier qui dure autant que le dard, et qu'au ment où il cesse, il se produit une détonation très-forte[1].

J'avais observé déjà avant M. Quet ce double bruit une étude détaillée que j'avais faite de l'action du ma tisme sur l'arc voltaïque, et j'avais montré qu'il est lié modifications moléculaires que cette action apporte à la m même de cet arc. J'avais remarqué d'abord que, si on deux tiges de fer doux servant d'électrodes chacune dans bobine formée d'un gros fil de cuivre, l'arc voltaïque qui entre ces deux pointes cesse au moment où l'on aimant tiges de fer en faisant passer un fort courant dans les bob et qu'il recommence si on a soin d'interrompre ce courant que les pointes se soient refroidies. L'arc lui-même ne s'établir entre deux pointes de fer, quand elles sont aima qu'autant qu'elles sont beaucoup plus rapprochées, et son parence est toute différente. Les particules qui se forment blent ne se détacher qu'avec peine des électrodes; des étin jaillissent avec bruit dans toutes les directions, tandis qu'à ravant c'était une lumière très-vive, sans étincelle et sans accompagnée du transport d'une masse liquide qui s'é avec la plus grande facilité. Le phénomène se passe de la manière, que les deux tiges de fer présentent à celles de extrémités entre lesquelles jaillit l'arc lumineux les m

[1] Cette détonation est souvent très-forte aussi dans les étincelles d'in qui sont de véritables arcs voltaïques instantanés.

ıgnétiques ou des pôles différents. Il faut remarquer
ue l'électrode positif produit, lorsqu'il est fortement
au moment où l'arc est établi entre lui et un électrode
le nature quelconque, un sifflement aigu, tout à fait
le à celui qu'on fait rendre à la vapeur dans les loco-
; ce bruit cesse immédiatement avec l'aimantation.
mieux étudier ce genre d'effet, il est préférable de se
un fort électro-aimant. C'est ce que j'ai fait en plaçant
de ses surfaces polaires une plaque métallique, et au-
ertıcalement une pointe métallique de manière à établir
les l'arc voltaïque. La plaque et la pointe étant toutes
platine, et la plaque étant positive, on entend, dès que
-aimant est aimanté pendant que l'arc subsiste, un sif-
très-aigu, et il faut rapprocher la pointe de la plaque
e l'arc puisse continuer. Si la plaque est négative et la
ositive, l'arc ne peut garder sa position verticale, il est
vers les bords de la plaque et aussitôt rompu; sa rup-
, chaque fois qu'elle a lieu, accompagnée d'un bruit sec
ntané, semblable à la décharge d'une bouteille de Leyde.
serve les mêmes effets en employant une plaque et une
l'un métal quelconque, pourvu que la plaque et la pointe
lu même métal, et que celui-ci ne soit pas trop fusible.
re et surtout l'argent offrent une particularité remar-
c'est que la plaque conserve à sa surface l'empreinte
ion qu'elle a éprouvée sous l'influence de l'électro-
. Ainsi, quand elle est positive, la portion de la surface
trouve au-dessous de la pointe négative présente une
a forme d'hélice qui semble indiquer que le métal fondu
tte portion a éprouvé un mouvement giratoire autour
tre, en même temps qu'il est soulevé en forme de cône.
he en hélice est en outre dans toute sa longueur bordée
es ramifications parfaitement semblables aux aigrettes
rminent les traces de l'électricité positive qui sort du
d'une bouteille de Leyde. Quand la plaque est négative
nte positive, les traces sont toutes différentes; c'est un
'un très-petit diamètre d'où part une ligne plus ou
courbe qui f comme une espèce de queue à la

comète dont le petit cercle serait le noyau; la directi
queue dépend du sens dans lequel l'arc a été projeté.

En produisant l'arc entre deux pointes très-près de
aimant, entre ses deux pôles par exemple, on peut fa
déterminer soit le sifflement aigu, soit la série des dét
celles-ci sont même quelquefois assez fortes pour ress
loin à des décharges de mousqueterie; seulement il
l'électro-aimant soit très-puissant et le courant qui pr
très-intense. Avec une pointe de platine et une pointe
on obtient le sifflement, quand c'est le platine qui est
des détonations quand c'est le cuivre. Cela tient à ce q
tine s'échauffe beaucoup plus que le cuivre, quand il e
Il est facile de s'assurer que pour obtenir le sifflem
que l'électrode positif atteigne une température capa
faire éprouver un commencement de liquéfaction; sa
n'a que les détonations; c'est ce que m'ont prouvé
breuses expériences faites avec différents métaux. Il
la précaution, pour obtenir le sifflement, de mainte
que possible l'arc continu une fois que l'électrode posit
incandescent, tandis que pour avoir les détonations il
l'un des électrodes à la main, et établir et interrompre
ment l'arc en évitant que la température des pointes
trop. Ces résultats semblent nous montrer que le siff
dû au transport de la matière plus ou moins liquéfiée
trode positif, tandis que les détonations proviennent
chement de ces mêmes particules, quand la substan
désagrégée n'est pas fortement chauffée. Mais ce qu'il
extraordinaire, c'est que ce sifflement et ces détonatio
lieu que lorsque l'arc est sous l'action de l'aimant.
simplement l'effet de l'action attractive ou répulsive
rants de l'aimant sur la série des particules qui, form
constituent un conducteur plus ou moins mobile trav
courant? Serait-ce le résultat d'une modification app
l'influence de l'électro-aimant à la constitution moléc
électrodes? Je suis plutôt disposé à croire que sous l
puissante de l'électro-aimant les molécules qui trans
courant, en formant la chaîne électrique, prennent de

s dues à l'action électro-dynamique, et que le sifflement résultat de cette gêne imprimée aux molécules qui sor- les électrodes, tandis que la détonation est l'effet de leur à leur état d'équilibre moléculaire. Les expériences sui- me paraissent de nature à corroborer cette opinion, en temps qu'elles semblent confirmer les idées que nous émises dans le chapitre précédent sur le mode de propa- du courant électrique.

'on place dans la direction axiale ou équatoriale ou inter- ire, au-dessus des pôles d'un électro-aimant fortement té, des barreaux prismatiques d'étain, de zinc, de plomb bismuth de 2 centimètres d'équarissage et de 50 de lon- environ, et qu'on les fasse traverser par un courant dis- provenant d'une pile de 5 à 10 couples de Grove, on l très-distinctement un son composé d'une série de coups pondants aux interruptions du courant. Ils ne rendent au- perceptible tant que l'électro-aimant n'est pas aimanté. oduit le même effet avec des tiges de cuivre, d'argent et tine. Des tubes de tous ces mêmes métaux rendent des encore plus prononcés que des cylindres pleins; des fils s en hélice autour d'un cylindre de bois vibrent également; de plomb disposé de cette manière peut rendre en particu- n son très-fort. Un aimant ordinaire produit le même effet électro-aimant. Il en est de même d'une hélice traversée n fort courant continu dans l'axe de laquelle on place le au, le tube ou le fil à travers lesquels on transmet le courant ntinu. Avec une double hélice formée de deux gros fils de e recouverts de soie et enroulés l'un extérieurement à re, on a un son d'une intensité remarquable en faisant r le courant continu à travers le fil extérieur et le discon- à travers l'intérieur; dans le cas inverse le son est beau- plus faible, ce qui tient à ce que l'action magnétique d'un nt en hélice est presque nulle extérieurement, tandis le est très-énergique intérieurement.

s effets que nous venons de décrire ne peuvent pas être bués à une dilatation provenant d'un réchauffement opéré le courant, puisqu'il a lieu avec des conducteurs de trop

forte dimension et un courant trop faible pour qu'on admettre qu'il y ait la moindre élévation de température leurs le son n'est produit qu'autant que l'électro-aim en même temps que le courant est transmis. On ne p plus admettre que la production du son soit le résult flexion mécanique occasionnée par l'action attractive o sive de l'électro-aimant sur le conducteur traversé pa rant; les dimensions de ce conducteur excluent cette i tation qui ne saurait se concilier non plus avec le fait corps aussi peu élastiques que le plomb et le charbo bien recuit donnent lieu au même phénomène, ainsi ég qu'une colonne de mercure renfermée dans un tube de 2 $\frac{1}{2}$ centimètres de diamètre et de 26 de longueur ces phénomènes me paraissent être le résultat de l'a l'électro-aimant sur les petits arcs voltaïques qui ont molécules à molécules, dans l'intérieur d'un corps co traversé par un courant électrique. Quand l'électro-ai sur tous les arcs voltaïques visibles, il n'est pas nécessa que le son soit produit, de rendre le courant discontin qu'il l'est déjà par lui-même, l'arc étant formé d'une décharges qui se succèdent plus ou moins rapidement est pas de même quand le courant traverse de bons con tels que des tiges métalliques; il faut alors le rendre di pour que les particules aient le temps de reprendre le tion naturelle entre le passage de deux courants succ puissent acquérir ainsi un mouvement oscillatoire au cette position; condition nécessaire pour que l'action d tro-aimant détermine un son et qui se trouve natur remplie avec l'arc voltaïque lumineux.

En résumé, le mouvement oscillatoire, et la produ son qui en est la conséquence, me paraît être un phénom léculaire provenant de la lutte qui s'établit entre la posi

[1] Quand le mercure est placé dans une auge découverte, en même te entend un son, on voit à sa surface un mouvement vibratoire partie différent du mouvement giratoire qu'il manifeste sous l'influence des p aimant, quand il est traversé par un courant continu.

n de l'aimant tend à imprimer aux molécules qui forment ine électrique, et celle que ces particules possèdent natu- ent. Cette lutte, très-apparente aux yeux aussi bien qu'à le, quand elle a lieu dans les particules qui composent amineux, ne devient sensible que par le son quand il s'agit es moléculaires ou des décharges qui ont lieu de parti- ı particules. Mais ce n'en est pas moins, à la grandeur nn phénomène analogue; ce qui confirme, comme nous s déjà remarqué, l'idée que nous avons mise en avant que pagation du courant se fait dans les conducteurs par une e décharges de molécules à molécules semblables à celles pèrent à des distances finies entre deux conducteurs, et ous venons d'étudier sous le nom d'arcs voltaïques.

Considérations générales sur la chaleur et la lumière électriques. — Propriétés spéciales de cette lumière.

tude que nous venons de faire de l'étincelle électrique et rc voltaïque nous a démontré que, sous ces deux formes, la ction de la lumière et de la chaleur par l'électricité est liée manière remarquable à un mouvement des particules des . D'un autre côté, les recherches récentes de Joule, de ius et de Thomson ont conduit les physiciens à envisager aleur comme résultant d'un mouvement rotatoire des ules autour d'un axe, et nous avons nous-même consi- cette hypothèse comme propre à rendre compte de la po- ı des atomes[1]. Ne serait-il donc pas possible que la cause chaleur, et par conséquent de la lumière, qu'engendre la ion des deux électricités s'opérant sous forme de décharge ı courant, ne fût pas dans le fait même de cette réunion, ı dans une augmentation du mouvement moléculaire qui lerait de la transmission de l'électricité? Ce mouvement, il ui, n'est pas apparent dans le phénomène du réchauffe- et de l'incandescence des bons conducteurs tels que des étalliques, comme il l'est dans l'étincelle et dans l'arc vol-

me I, page 570.

taïque. Toutefois, il se manifeste même dans ce cas par les m dications moléculaires qu'éprouvent les fils qui ont été rend incandescents par l'effet des décharges[1]. Au reste, il nous sem que la meilleure preuve en faveur de l'existence de ce mou ment, indépendamment de la production même de la chale existe dans le fait général des sons que rendent et par con quent des vibrations qu'éprouvent tous les conducteurs transmettent des courants discontinus, lorsqu'ils sont pla sous l'influence de puissants électro-aimants.

Quant à la théorie qui attribue d'une manière directe à réunion même des deux électricités le dégagement de la c leur et de la lumière, nous trouvons une objection contre généralité dans le fait important découvert par Peltier, const et étudié par plusieurs autres physiciens, que cette réunion p duit quelquefois un abaissement de température. Peltier a démontré cette propriété curieuse du courant en plaçant d l'intérieur de la boule d'un thermoscope à air, au lieu d'un de platine comme dans l'appareil de Riess (fig. 195, page 15 une tige de 2 à 3 millimètres de diamètre composée de d petits cylindres, l'un de bismuth, l'autre d'antimoine, appliq bout à bout l'un contre l'autre, de façon que leur surface contact fût à peu près au centre de la boule. Il avait tro qu'un courant électrique d'un seul couple transmis à traver

[1] Une expérience qui semblait devoir démontrer que la chaleur dégagée le courant est due à un mouvement ayant une certaine direction, était celle laquelle on avait tenté de faire passer à la fois à travers un même fil métalli en sens contraire l'un de l'autre, deux courants énergiques de même intens et capables chacun séparément de faire rougir ce fil. On trouvait qu'alors l restait parfaitement froid, preuve, croyait-on, que les deux mouvements di en sens opposé se neutralisent. Mais il est facile de voir que dans ce mode pérer, le fil, au lieu d'être traversé par deux courants opposés, n'est traversé aucun. En effet, l'expérience se réduit à ceci, savoir que lorsque deux piles réunies par leurs pôles opposés de manière à former un circuit complet, fil métallique qui unit les deux conducteurs établissant les communicati entre les pôles n'est traversé par aucun courant, ce qui doit être, puisque c'e peine si un faible courant dérivé devrait être transmis par ce fil. L'expéri n'est donc nullement concluante en faveur de l'existence d'un mouvement m culaire, mais elle ne lui est pas contraire.

: abaissait la température du point de contact de 37 divisions, nd il marchait du bismuth à l'antimoine, et l'élevait de 45 iron, quand il cheminait de l'antimoine au bismuth. Lenz arque avec raison que l'effet du refroidissement est diminué s la manière d'opérer de Peltier, par le réchauffement que assage du courant détermine dans le barreau même de bis- h, ainsi qu'il s'en est assuré. Pour se mettre à l'abri de cet nvénient, il a soudé l'un à la suite de l'autre deux barreaux drangulaires de bismuth et d'antimoine de 11 $\frac{1}{2}$ centimètres ongueur chacun, et de 2 $\frac{1}{2}$ centimètres carrés de section nversale, puis il a percé au point de la soudure un trou dans nel il a introduit la boule d'un petit thermomètre, en ayant i de remplir entièrement de limaille de fer la partie supé- ure du trou resté vide. En faisant passer à travers ce bâton hélique le courant d'un simple couple de zinc et de platine viron 10 décimètres carrés de surface, il a trouvé que le rmomètre s'abaissait de 4° centig., quand le courant allait du muth à l'antimoine, et qu'il s'élevait au contraire de plusieurs grés, quand le courant cheminait de l'antimoine au bismuth. nt rempli d'eau le trou de la soudure et ayant recouvert le on, sauf au point de soudure, de neige fondante de manière : la température de tout l'appareil, l'eau comprise, fût main- ue à 0°, il réussit à faire geler l'eau renfermée dans le trou même à abaisser sa température à 4°, 5, en faisant passer le rant du bismuth à l'antimoine pendant cinq minutes. Sans passage du courant l'eau ne gelait point, et sa température maintenait seulement à 0°.

Le phénomène curieux que nous venons de signaler se rat- che à un fait plus général, savoir, la variation de température e détermine le passage d'un courant électrique au point de ntact de deux conducteurs hétérogènes soudés bout à bout. Peltier a observé que pour la plupart des métaux l'élévation température est toujours beaucoup plus grande au point de ntact de deux fils métalliques, quand le courant passe du ins conducteur au plus conducteur, que dans le cas inverse; a différence peut devenir telle que dans certains cas, au lieu ne élévation de température, on ait un abaissement comme

nous l'avons remarqué; mais alors deux conditions sont saires pour obtenir ce dernier phénomène : la première, q des métaux au moins soit cristallin; la seconde, que le c transmis ait une faible intensité.

M. Frankenheim, qui a fait une étude approfondie phénomènes, distingue avec raison cette variation de te ture qui a lieu à la limite de deux conducteurs, et qu'il *secondaire*, de celle qui a lieu dans tout le circuit. La p dépend du sens du courant, tandis que la seconde en e pendante; elle est proportionnelle à la simple intensité rant, tandis que la seconde est proportionnelle au carré intensité.

Du reste, les effets observés pour la première fois par sont liés avec un phénomène que nous n'avons point étudié, celui de la production des courants thermo-élec qu'on développe en chauffant et refroidissant alternat les points de contact de petites tiges métalliques hété soudées bout à bout les unes à la suite des autres, de à former un circuit tout métallique. En effet, en réchau point de contact d'un barreau d'antimoine et d'un bar bismuth, on détermine un courant qui va directement muth à l'antimoine, et en le refroidissant on obtient un qui va également directement de l'antimoine au bismut à-dire que le courant produit par ces variations de tem a une direction précisément contraire à celle du cou produirait ces mêmes variations. Cette opposition sem indiquer que le courant extérieur qu'on introduit dan composée des deux métaux y produit un mouvement laire dirigé en sens contraire de celui que la chaleur mine, d'où résulte l'abaissement de température qu difficile d'expliquer autrement. Mais ce n'est que dan quième partie consacrée aux sources de l'électricité, et culier dans le chapitre où nous traiterons plus spéciale développement de l'électricité par la chaleur, que nous p revenir, en l'étudiant d'une manière plus approfondie phénomène que nous venons de signaler, et qui a été l' travaux d'un grand nombre de physiciens. Ce que

[illegible] dit suffit cependant pour justifier la double assertion que [illegible] avons émise plus haut, savoir, que la chaleur dégagée par [illegible]ransmission de l'électricité dynamique n'est pas due à la [illegible]nion des deux électricités, mais qu'elle doit plutôt être attri[illegible] à un mouvement moléculaire dont cette réunion déter[illegible] la production, ou simplement l'augmentation. Dès lors on [illegible]oit que dans le cas des corps cristallisés, où les molécules [illegible] retenues par des forces qui ne leur permettent pas de [illegible]dre immédiatement sous l'influence du courant une posi[illegible] qui mette en harmonie le sens de leur rotation naturelle [illegible] celui de la rotation que le courant tend à leur imprimer, [illegible] deux sens puissent être contraires de telle façon que le [illegible]ge du courant contrecarre le mouvement, et que loin [illegible]roître la vitesse, il la diminue; ce qui, d'après les théories [illegible]elles sur la chaleur, abaisse la température au lieu de l'é[illegible]r. Il n'en est plus de même quand le courant, devenant plus [illegible], les forces moléculaires doivent lui céder, et ne s'opposent [illegible] à ce que les particules prennent la position qu'il tend à [illegible] imprimer, position qu'elles occupent sans lutte dans les [illegible]ps non cristallisés et dans les liquides.

Ces mouvements moléculaires, qui sont si perceptibles dans [illegible]c voltaïque, n'en existent pas moins dans l'étincelle, quoi[illegible] ils y soient moins sensibles. Nous en avons vu la preuve dans [illegible] transport des particules qu'opère l'étincelle et dans la forma[illegible] des anneaux de Priestley. Aussi l'étincelle électrique est [illegible] résultat comme l'arc d'un mouvement très-rapide imprimé [illegible] particules matérielles, et qui est accompagné d'une forte [illegible]leur et de lumière; mais sa durée excessivement courte rend [illegible] perception de ces phénomènes beaucoup plus difficile que [illegible] l'arc qui est permanent. La lumière de l'étincelle n'est-elle [illegible] qu'à l'incandescence des petites particules solides détachées [illegible] conducteur et des molécules gazeuses ambiantes, ou bien [illegible]viendrait-elle en partie aussi d'un ébranlement imprimé di[illegible]lement à l'éther par le mouvement de l'électricité? Il me pa[illegible] difficile d'admettre que l'électricité puisse agir directement [illegible] l'éther, de manière à y produire des ondulations lumineuses, [illegible] il n'y a pas de lumière électrique dans le vide parfait, sauf

celle qui provient de l'incandescence des particules dét
des conducteurs par la décharge; et cette lumière se n
toujours partout où il y a des particules matérielles da
espace qui n'en renferme que peu. Ainsi, dans le long tu
l'on a fait le vide, on voit la lueur électrique se prom
long de la paroi intérieure du tube de verre à laquelle i
toujours de l'air ou de la vapeur adhérents. J'ai réussi n
montrer d'une manière frappante la présence d'une sul
pondérable là où il y a lumière électrique, jusque dans
en apparence le plus parfait. Voici la description d'un
rience qui, quoique faite en vue de l'explication des aur
réales, comme on le verra plus tard, constate bien le p
bue je viens de poser.

Fig. 220.

J'introduis dans un ballon de verre de 30 à 40 cent

re (fig. 220), par une des deux tubulures opposées muni, une tige de fer doux de 2 centimètres de diairon, de façon que l'une de ses extrémités aboutisse au centre du ballon, et que l'autre ressorte par la t la dépasse. La tige de fer est recouverte, dans toute ie, sauf à ses deux extrémités, d'une couche isolante e, formée d'abord de gomme laque, puis d'un tube couvert lui-même de gomme laque, puis d'un second rre, et enfin d'une couche de cire bien unie; la couie doit avoir, dans son ensemble, au moins un centiaisseur, ce qui donne 4 centimètres de diamètre au nsi recouvert. Un anneau de cuivre entoure le baressus la couche isolante dans la portion la plus rape la tubulure, mais dans l'intérieur du ballon. Cet ut être mis en communication avec une source élecérieure au barreau, au moyen d'un fil métallique soin, qui traverse la tubulure et se termine extérieur un crochet. Un robinet, fixé à la seconde tubulure , permet d'y faire le vide. Lorsque l'air y est suffiraréfié, on fait communiquer le crochet avec le conune machine électrique, et l'extrémité extérieure de fer doux avec le sol, de façon que l'électricité forme rieur du ballon une gerbe lumineuse plus ou moins e, qui part de l'anneau et aboutit à l'extrémité supéfer doux. Mais, au moment où l'on place l'extrémité de ce fer sur le pôle d'un fort électro-aimant, la lectrique prend un aspect tout différent. Au lieu de ifféremment de différents points de la surface supécylindre de fer, elle part uniquement de tous les la circonférence de cette surface, de manière à former elle comme un anneau lumineux continu. Ce n'est cet anneau a un mouvement de rotation autour du imanté, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, direction du courant électrique et le sens de l'aimanfin, des jets plus brillants semblent partir de cette nce lumineuse sans se confondre avec le reste de la s que l'aimantation cesse, le phénomène lumineux

redevient ce qu'il était auparavant, et ce qu'il est g
ment dans l'expérience connue sous le nom de l'œuf él

N'est-il pas évident que ces jets lumineux, qui
comme des conducteurs mobiles à l'action de l
sont, dans ce cas, aussi bien que dans celui de l
taïque, composés de particules matérielles traversé
décharge. Je suis disposé à admettre que ces partic
gazeuses et qu'elles proviennent de la couche d'
adhérente, malgré le vide, à la surface supérieure du
de fer d'où sort le jet électrique qui les entraîne av
manière à former l'aigrette qui, ainsi que nous l'avo
composée de petits filets d'air. D'ailleurs la lumière vi
ces filets gazeux traversés par la décharge diffère not
de la lumière blanche et bien plus vive des particul
détachées des conducteurs, qui se trouvent en plus
grande proportion au milieu de la lueur électrique.
entre ces deux apparences, à peu près la même différe
observe entre la lumière pâle de la flamme de l'hydro
ou de l'alcool, et celle de cette même flamme quand o
duit de petites particules de charbon, ou une lame
platine, qui deviennent incandescentes.

Toutefois, M. Neef, qui a fait une étude particuli
lumière électrique, est disposé à croire que la lueur d
bleuâtre qui se manifeste autour des conducteur
d'électricité provient d'une espèce d'atmosphère gaz
tout métal, à l'état solide, est entouré, et que l'électri
visible là où elle agit avec le plus d'intensité. La pr
cette atmosphère métallique expliquerait les change
couleur qu'éprouve la lumière avec la nature des mét
lesquels jaillit l'étincelle d'induction. M. Neef l'a obse
le zinc qui donne une lumière bleue, et le cuivre qui
une verte. M. Matteucci a fait la même observation
pointes de zinc, de cuivre et d'or. Cependant M. Neef
qu'avec de l'électricité de frottement, qui a beaucou
tension, l'air et les fluides élastiques peuvent devenir l
ce qui explique pourquoi les divers gaz produisent un
de couleur différente. Il est bien probable qu'il en est

lumière de l'étincelle d'induction, et que les différences
ente sa couleur, suivant les métaux entre lesquels elle
ienment au mélange des particules métalliques incan-
s avec les particules gazeuses également lumineuses.
avons déjà parlé, dans le § 6, du travail intéressant
, qui a appliqué le premier avec succès le microscope à
des phénomènes lumineux de l'électricité en examinant
n, avec le secours de cet instrument, toutes les particu-
e l'étincelle d'induction. Ce physicien avait cru devoir
ier les deux pôles quant à leurs propriétés calorifique
neuse, attribuant au pôle positif le dégagement de la
, la réduction en poussière et la volatisation de la sub-
de l'électrode, et au pôle négatif la production de la
primaire, c'est-à-dire de la lumière qui ne provient
n accroissement de température. L'existence de cette
, qu'il nomme *flammes froides*, paraît à M. Neef très-
e de celle qui résulte de l'incandescence et de la com-
des particules solides détachées des électrodes, et il la
re comme étant de même nature que la lumière phos-
e qui ne semble pas également douée de chaleur; cette
est donc, suivant lui, indépendante de la chaleur,
que la lumière secondaire est due à la chaleur qui, pro-
du pôle positif, produit l'incandescence et transporte au
gatif des particules de l'électrode positif, quand elle
t un certain degré d'intensité; la chaleur et la lumière
ondent alors, mais non dans leur origine. C'est en dimi-
suffisamment l'intensité de l'étincelle d'induction qu'on
it à ne plus avoir de lumière qu'à l'électrode négatif, et
ela M. Neef se sert d'une petite rondelle et d'une pointe
ine entre lesquelles il fait jaillir cette étincelle au moyen
ppareil semblable à celui de la figure 149[1], dont il peut
ier la force à volonté[2]. Selon que le courant d'induction
ou l'autre direction, c'est tantôt la pointe, tantôt la

1, page 393.
moyen le plus simple de faire varier l'intensité du courant d'induction,
être dans son circ une te colonne d'eau placée dans un tube dans
intérieur deux pe qu'on peut rapprocher plus ou moins,

rondelle qui s'illumine d'une lumière violette, tandis q
lectrode opposé reste obscur. Riess, comme nous l'avon
montré que le phénomène lumineux de Neef est analogue
de la décharge obscure de Faraday, et qu'on peut ég
le produire au moyen d'un fort courant d'induction t
dans l'air raréfié entre deux boules, dont l'une, la néga
lumineuse, et l'autre, la positive, reste obscure. Il a
qu'avec une raréfaction moindre le pôle positif devie
lumineux, ce qui prouve que le dégagement de lumi
point une propriété exclusive du pôle négatif.

L'idée de Neef de lier le dégagement de lumière et de
à la nature de la polarité, négative ou positive, nè no
donc pas fondée, d'autant mieux qu'il n'y a plus de
dès qu'il y a décharge ou courant et que la chaleur
mière ne sont développées qu'autant qu'il y a électricité
vement. Toutefois, il y a deux faits bien démontrés : le
que dès qu'il y a transmission d'une décharge ou d'un
électrique à travers un mauvais conducteur, l'électro
éprouve une augmentation de température et une dé
tion mécanique que n'éprouve pas au même degré le
le second, que l'émission de la lumière n'est pas toujo
tique aux deux électrodes, et que, suivant les circonst
accompagnent la transmission de l'électricité, elle est
à l'électrode positif ou au négatif. Je suis disposé à c
ces différences tiennent essentiellement à la nature d
interposé entre les électrodes, ainsi qu'à la nature et
des électrodes eux-mêmes, ainsi que cela résulte des ex
faites avec l'arc voltaïque. Peut-être aussi, dans cert
les altérations chimiques qu'éprouve le milieu tra
l'électricité ne sont-elles pas complétement étrangè
effets. Mais avant d'en rechercher davantage l'explic
sayons d'étudier mieux que nous ne l'avons fait la lum
trique elle-même, ses propriétés spéciales et ses effe
trouverons dans cette étude un moyen d'en mieux a

et de manière que le trajet du courant à travers l'eau soit plus ou
c'est cet appareil qu'on appelle *modérateur*.

nature et d'en mieux expliquer les diverses apparences.
ı vite après la découverte de l'arc voltaïque on avait re-
té que, tant sous le rapport de l'intensité que sous celui
autres propriétés, cette lumière avait beaucoup de res-
ance avec la lumière solaire. Brande avait montré qu'elle
ine immédiatement la combinaison du chlore et de l'hy-
ne; j'avais observé moi-même qu'on peut obtenir une
inte au daguerréotype d'un buste en plâtre éclairé par
umière. J'avais également constaté qu'elle ne présente
e trace de polarisation, autre analogie avec les rayons du
Plus tard, MM. Fizeau et Foucault, en comparant les deux
es, soit entre elles, soit avec celle qui est produite par
: oxygène et hydrogène projetés sur de la chaux, avaient
né cette analogie; car ils avaient trouvé que, tant sous
port de leur action chimique sur une plaque iodurée de
rréotype que sous celui de leur simple action lumineuse
iée par la comparaison des images reçues sur un écran
acide, l'intensité de la lumière des pointes de charbon
ite par 46 couples de Bunzen est à celle de la lumière so-
omme 1 : 4, et même comme 1 : 2,5 avec trois séries pa-
s, soit 46 couples à surface triple, tandis que l'intensité
umière des gaz oxygène et hydrogène est à celle de la lu-
voltaïque comme 1 : 35 ou comme 1 : 56 avec les 46 cou-
grande surface. On voit donc combien la lumière élec-
est plus rapprochée de la lumière solaire que de celle qui
duite par la combustion du mélange gazeux. Une chose
emarquable, c'est qu'on arrive au même résultat, soit pour
nsités optiques, soit pour les intensités chimiques, ce qui
: que ces deux intensités sont dans le même rapport. Je
jouter que la lumière voltaïque soumise à l'expérience
ourmie par l'extrémité de l'électrode positif, qui paraît
portion la plus brillante de l'arc formé par deux pointes
rbon. M. Despretz, dans ses recherches sur l'arc vol-
, a bien constaté que, si l'arc croît en longueur avec le
e des couples disposés en série, l'intensité de sa lumière,
ne certaine limite, ne suit pas la même progression, mais
nte avec la surface. Ainsi, au delà de 100 couples, l'in-

tensité ne s'accroît pas sensiblement si on augmente même qu'à 600 le nombre des couples en série, tandis que l'arc de 6 à 7 fois plus long; mais si on dispose ces 600 couples en séries parallèles de manière à avoir 100 couples à grande face, alors l'intensité de la lumière croît presque proportionnellement à cette surface.

Casselmann, en opérant avec des pointes de charbon préparées comme le charbon des piles de Bunzen, mais qui avaient été plongées dans une solution, soit de nitrate de strontiane, d'acide nitrique, etc., avait trouvé que ces pointes produisaient une lumière beaucoup plus égale et plus permanente que celle qu'on obtient avec du charbon pur; seulement elle est différemment colorée, suivant la nature de la solution dans laquelle les pointes de charbon ont été plongées.

Voici un tableau qui renferme le degré d'intensité de la lumière pour chaque arc, avec la force du courant correspondant mesuré au moyen d'un galvanomètre à tangente placé dans le même circuit dont l'arc fait partie. L'intensité lumineuse est rapportée à celle d'une bougie de stéarine prise pour unité.

	DISTANCE des POINTES.	FORCE du COURANT.	INTENSITÉ de la LUMIÈRE.
Charbon pur.	0mm.5	95	932
	4 .5	68	130
Charbon plongé dans le nitrate de strontiane.	0 .5	120	353
	6 .75	88	274
Charbon plongé dans le chlorure de zinc.	1 .0	80	624
	5 .0	67	129
Charbon avec borax dans l'acide sulfurique.	1 .5	72	1171
	5 .0	64	165

Ces résultats ne sont qu'approximatifs à cause de la mobilité de la lumière des extrémités incandescentes des pointes qui contribuent pour la plus grande partie à la vive lumière de l'arc. Cependant, réunis à d'autres dans lesquels la lumière avait été rendue plus fixe au moyen de l'action d'un aimant qui lui

e direction déterminée, o trouve que l'intensité lumi-
croît dans une progressi un peu plus rapide que la
a courant.
Masson, qui a fait une étude toute particulière de la lu-
électrique, s'est principalement occupé de celle que ma-
l'étincelle; il la produisait dans ses expériences par les
ges d'un condensateur à l es de verre recouvertes sur
e de leurs faces d'une fe lle mince d'étain. L'instru-
estiné à ces expériences, qu'il a nommé *photomètre*
ue, est construit d'après le principe suivant : Un disque
ier sur lequel on a tracé des secteurs noirs et blancs
dimension, se mouvant avec une rapidité suffisante,
l'une teinte uniforme et grisâtre si on l'éclaire avec une
e blanche permanente. Ce phénomène bien connu est dû
rsistance de la sensation. Lorsqu'au lieu d'une lumière
emploie une lumière instantanée pour éclairer les sec-
on voit le disque comme s'il était fixe, les secteurs
pu se déplacer sensiblement pendant la durée de la lu-
L'œil apercevant dans ce cas, et avec une grande netteté,
détails du disque, nous acquérons déjà une notion sur
rême sensibilité et sur la rapidité avec laquelle s'exerce
eption des objets et se forme notre jugement sur leur
Si le disque éclairé par une lumière permanente est su-
nt illuminé par une lumière instantanée, une étincelle
ue par exemple, on verra, pour une intensité convenable
dernière, apparaître les secteurs. Si l'on affaiblit suc-
nent la lumière instantanée, il arrivera une époque où
eurs disparaîtront, et le disque paraîtra éclairé d'une
niforme. Dans ce cas la lumière instantanée est une
de la lumière permanente, variable avec l'œil de l'opé-
mais invariable pour un même œil, les circonstances de
stant les mêmes. En effet, à cause de la persistance de
tion, la place qu'occupe un secteur noir, ne réfléchissant
umière de l'étincelle, a conservé l'éclairement primitif
; celle qu'occupe un secteur blanc renvoie à l'œil au-
lumière que la première, plus la lumière due à l'étin-
nand l'intens de cette dernière représentera la limite

de sensibilité de l'œil de l'observateur, le disque para formément éclairé. Le rapport entre les intensités des ments des secteurs noirs et blancs au moment où l'on les distinguer, peut, comme nous le verrons plus loi de $\frac{1}{30}$ à $\frac{1}{120}$, suivant la sensibilité de l'œil de l'obse Quant au rapport entre l'intensité de la lumière de l' et celle de la lumière fixe, il dépend des dimensions des noirs et blancs. Si les secteurs sont égaux, et c'est le c expériences, le rapport entre la lumière instantanée mière fixe est la moitié de celui trouvé par expérience. supposons que la sensibilité de l'œil soit $\frac{1}{60}$; quand les disparaissent, le rapport entre la lumière électrique mière fixe n'est que $\frac{1}{160}$ de l'éclairement que produ mière fixe sur un disque parfaitement blanc, puisqu en mouvement ne nous envoie que la moitié de la lu réfléchirait s'il était en repos et parfaitement blanc. L de la lumière électrique donnée par expérience que $\frac{1}{160}$ de la lumière fixe, si la surface noire était tiers de la surface blanche.

Les appareils nécessaires aux expériences sont une

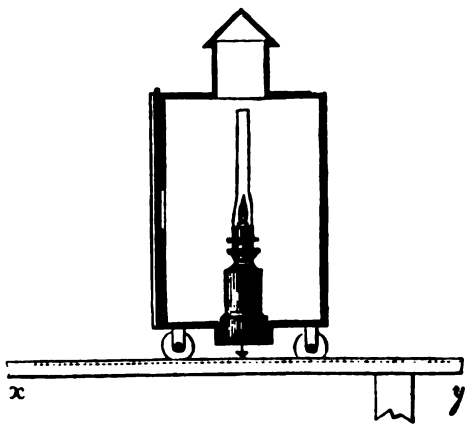
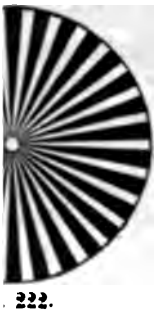


Fig. 221.

électrique, des condensateurs, un micromètre destiné à les distances explosives de l'étincelle, des conducteu

nature particulières, l'appareil destiné à ren-
ère permanente, enfin le photomètre. Les con-
plans et formés de lames de verre, recouvertes
leurs faces d'une feuille mince d'étain, ce qui
ırer facilement leur surface et leur épaisseur, et
r degré d'homogénéité. La lumière fixe est pro-
rès-bonne lampe carcel dont l'éclairement peut
stant pendant une ou deux heures. La lampe
ıfermée dans une boîte en bois noircie, semblable
à celle des fantasmagories, et ce système se meut sur un chemin à rainure muni d'une division en millimètres qui, au moyen de la pointe verticale correspondant au centre de la flamme, mesure sa distance au disque éclairé. L'appareil photométrique est essentiellement constitué par un disque de papier épais



. 222.

centimètres de diamètre sur lequel on a tracé
's noirs et blancs alternatifs et de même dimen-
est collé sur un support de cuivre fixé par une
rincipal d'un mouvement d'horlogerie contenu
à l'aide d'une détente, on peut arrêter ou faire
ıue dont la vitesse variable peut atteindre un
)0 à 250 tours par seconde.

son entier est représenté en projection verticale
est la paroi qui sépare la chambre obscure où
e la chambre dans laquelle est la machine élec-
lensateur dont la décharge arrive par les con-
ton V et V′, maintenus au centre des tubes de
H′ par des bouchons de liége recouverts d'une
Les armures des condensateurs communiquent
urs métalliques V G et V′ G′ à des colonnes de
ues dans des rigoles L L et L′ L′ creusées dans
.e bois et vernies intérieurement avec de la
noire. Ces conducteurs, comme tous les autres

accessoires de l'appareil placé dans la c ambre noire, s
couverts d'un vernis d'un noir mat, de manière à évite

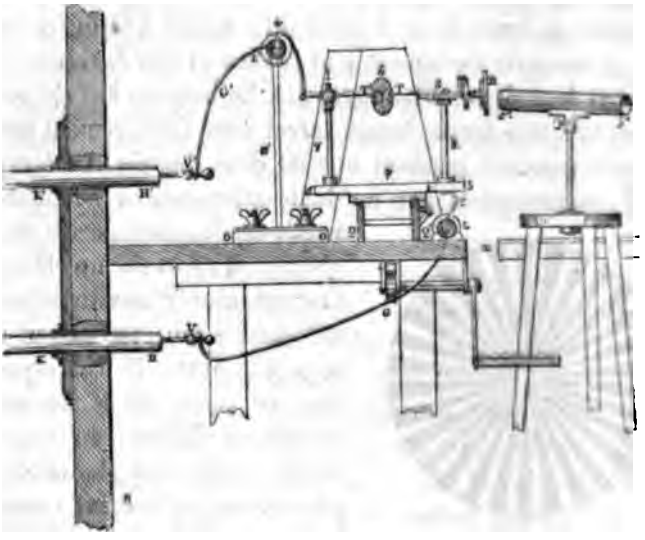


Fig. 223.

réflexion. Les tiges V G, V' G', amalgamées sur tous les
plongeant dans le mercure, aboutissent aux extrémité
sées des canaux L L, L' L', *de telle sorte que le circuit p*
par le courant reste constant. Le cylindre L' L' est isolé
pieds de verre recouverts d'une couche de gomme laque
L L est fixé au support qui reçoit l'appareil où jaillit l'ét
Ce support en bois, construit comme la pièce fixe d'u
chine à raboter, est désigné par les lettres Q Q; il est pl
une table solidement fixée au mur et au plancher; il p
une de ses faces une division en millimètres qu'on ne v
parce qu'elle est tracée sur une tige horizontale et pe
culaire au plan de la figure. L'appareil qui est le si
l'étincelle est mobile sur Q Q' et peut être amené, au
d'une chaîne sans fin à la Vaucanson, et d'une mani
diverses distances du photomètre. La pièce portant l'é
est composée d'une planche *a b*, supportant deux tige
cales, l'une en verre *a* γ, et l'autre en cuivre *b* δ. En l e

nent fixé, par une vis de pression, un conducteur métal-
plongeant en ω dans le mercure; ce conducteur est terminé
par une boule montée à vis. Un autre conducteur T S,
it aussi une boule vissée T, est mis en mouvement au
s d'une vis micrométrique R S donnant le demi-milli-
. La communication avec le sol est établie par le con-
ur 2 b Y L, dont la partie Y L plonge dans la rigole de
ire L L. Les supports o o, fixés sur la table par des vis de
on, portent une rainure qui permet d'établir le parallé-
entre les rigoles L et L'. Le centre du disque, celui de la
e de la lampe et l'étincelle électrique sont contenus dans
même plan horizontal. L'œil de l'observateur regarde le
e au travers d'un tube noirci intérieurement et extérieu-
nt ayant son axe perpendiculaire au plan du disque; ce
renferme les diaphragmes qui ne permettent à l'œil d'aper-
r que les secteurs. La lampe carcel avec sa boîte est placée
re l'œil de l'observateur, de manière à éclairer le disque
e support horizontal où se meut, le long de la division, la
qui la renferme.

ès divers essais préliminaires qui lui prouvèrent l'exacti-
et la sensibilité de son appareil, M. Masson trouva que
nsité de la lumière électrique produite par des décharges
ndait des éléments suivants : 1° la distance d'explosion ;
surface des condensateurs; 3° l'épaisseur des condensa-
; 4° la nature et par conséquent la puissance condensante
ondensateurs ; 5° la conductibilité du circuit ; 6° la nature
ilieu où l'explosion est produite ; 7° la nature des pôles,
électrodes entre lesquels l'étincelle jaillit. Il établit de
les lois suivantes :

MIÈRE LOI. *L'intensité de la lumière électrique varie en*
raison inverse du carré des distances de cette lumière aux sur-
éclairées.

TRIÈME LOI. *L'intensité de la lumière électrique varie pro-*
portionnellement aux surfaces des condensateurs et en raison
inverse de leur épaisseur.

QUATRIÈME LOI. *L'intensité de la lumière électrique croît pro-*
portionnellement aux carrés des distances d'explosion.

Ces lois sont générales et indépendantes des autres qui n'influent que sur l'intensité absolue de la lumière él Il est assez remarquable qu'en comparant les rés M. Masson à ceux de Riess on trouve que les mêmes gissent le développement de la lumière et celui de la de telle sorte que les mêmes formules leur sont app et qu'on peut poser comme principe que *les quantités d sont proportionnelles aux quantités de lumière*[1].

Nous ne pouvons rapporter ici les détails des non expériences au moyen desquelles M. Masson a obtenu que nous venons d'énoncer, non plus que celles qu'il pour étudier l'influence de la conductibilité du circu portée explosive des différentes substances gazeuses et li Nous nous bornerons à transcrire deux des tableaux ferment les résultats relatifs à l'influence exercée sur l'i de la lumière électrique par la nature des électrodes donnera en même temps l'idée de la manière dont l'hab sicien français opérait dans ses recherches.

Il employait successivement pour électrodes des b métal de différente nature, ayant environ 4 millimètres mètre ; à chaque changement de métal on déterminait tion du vernier correspondant au contact des sph rapprochant les boules jusqu'à ce qu'on vît disparaît elles une petite étincelle produite par la machine éle puis désignant par X la distance d'explosion, par Y l'étincelle au photomètre, et par Z celle de la lampe, on les résultats renfermés dans les deux tableaux suivants, premier donne X, Z et Y étant constants, et le second Y étant constants. Dans les deux séries d'expériences, la du condensateur est de 40,000 millimètres carrés.

[1] Voyez la note finale D.

[2] Nous avons déjà traité ce point au chapitre Ier, p. 95 et suiv.

Z = 540mm Y = 634mm.

ÉTAUX.	X.			MOYENNE.
	5mm.45	5mm.50	5mm.50	5mm.48
e.	5 .29	5 .24	5 .30	5 .27
n.	5 .26	5 .20	5 .18	5 .21
.	4 .88	4 .90	4 .89	4 .89
	4 .89	4 .86	4 .87	4 .87
b.	4 .20	4 .13	4 .12	4 .15

Z = 540mm X = 6mm.

ÉTAUX.	Y.			MOYENNE.
e.	7mm.53	7mm.52	7mm.52	7mm.52
n.	7 .56	7 .57	7 .56	7 .56
	7 .64	7 .59	7 .61	7 .61
.	7 .82	7 .84	7 .83	7 .83
b.	7 .94	7 .99	7 .96	7 .96
	7 .98	7 .96	7 .97	7 .97

lassant les métaux d'après l'accroissement qu'ils peuvent re dans l'intensité de l'étincelle, on obtient l'ordre sui-

Premier tableau.	Deuxième tableau.
Fer.	Cuivre.
Cuivre.	Laiton.
Laiton.	Fer.
Étain.	Étain.
Zinc.	Plomb.
Plomb.	Zinc.

oit, d'après ce classement, que les métaux forment deux s distincts entre lesquels il existe une différence d'action table, tandis qu'elle est tr légère entre les métaux du groupe. Ces (gr comprennent : l'un, le cuivre,

le fer et le laiton, et l'autre, l'étain, le zinc et le plomb. l
classement est le même que celui qu'on obtiendrait en
égard à la ténacité de ces métaux, ceux qui ont le mo
ténacité donnant une lumière plus vive que ceux qui
plus. Comme d'un autre côté l'inspection à la loupe des l
qui ont servi à la production de nombreuses étincelles n
qu'elles sont profondément altérées aux points d'expl
surtout celles d'étain, de zinc et de plomb, on est forc
conduit à reconnaître que le phénomène lumineux tient
effets d'arrachement qui varient avec la ténacité des mé
non avec leur fusibilité, puisque des métaux ayant des
de fusion très-différents donnent au photomètre la même
sité[1]. Au reste, cet ordre est aussi celui que M. Matteuc
trouvé en classant les métaux d'après la conductibilité d
auquel ils donnent naissance. Des expériences faites su
vement avec des boules de laiton dont les surfaces étaient
ou dépolies, étamées ou amalgamées, en démontrant qu
la surface du métal et non sa conductibilité propre qui
une influence sur l'intensité de la lumière, confirment qu
intensité augmente lorsque les métaux sont facilement
portés par la décharge. Mais il est probable aussi, comm
le verrons dans l'instant, que la nature même des par
transportées contribue pour sa part à l'effet observé.

Cette influence de la nature des particules est surtout a
quand on étudie les spectres formés par le passage, à tra
prisme, de la lumière des étincelles électriques. Déjà Wo
et surtout Frauenhofer avaient trouvé que le spectre
lumière électrique diffère de celui des autres lumières
cielles et de la lumière solaire par la présence de plusieu
très-claires, dont une en particulier qui se trouve dans
est d'une clarté presque brillante en comparaison du re
spectre. M. Wheatstone, ayant étudié le phénomène en se s
pour électrodes de différents métaux, avait remarqué q

[1] M. Riess avait déjà montré que l'effet de pulvérisation qu'éprouve
ment les métaux par les décharges ne dépend point d'une fusion, mais e
sultat direct d'une désagrégation moléculaire opérée par le passage de l'é
laquelle doit nécessairement, dans les mêmes circonstances, varier avec la

es brillantes diffèrent en nombre et en position suivant le tal employé, et que, lorsque l'étincelle part entre des boules métaux différents ou faites d'alliages divers, on aperçoit si-ltanément les raies brillantes appartenant à chacun des deux taux. Le savant physicien anglais avait opéré avec la lu-ère électrique produite, soit par les piles, soit par les chines d'induction, soit par les machines électriques ordi-ires. M. Despretz et M. Foucault ont fait plus tard un examen s complet du spectre de l'arc voltaïque. Le premier a vé que les raies brillantes de l'arc produit entre deux ites de charbon sont fixes et indépendantes de l'intensité du rant : car il s'est assuré qu'en passant de 100 éléments à 600 ités, soit consécutivement, soit en séries parallèles de 100, raie jaune ou bleue amenée en coïncidence avec le fil de la tte reste parfaitement à la même place. Le second physi-n, M. Foucault, ayant observé dans ce même spectre une e double située sur la limite du jaune et de l'orangé, rappe-t par sa forme et sa situation la raie D du spectre solaire, lut savoir si elle lui correspondait, et pour cela il fit tomber l'arc lui-même une image solaire formée par une lentille vergente, ce qui lui permit d'observer, superposés l'un à tre, le spectre électrique et le spectre solaire; il s'assura si que la double ligne brillante de l'arc coïncidait avec la ble ligne noire de la lumière solaire. On retrouve cette D dans les arcs formés par d'autres matières, et quand on ploie comme électrodes des métaux qui ne la font apparaître difficilement, tels que le fer et le cuivre, on peut la faire vre avec une grande intensité en les touchant avec la potasse la soude. En faisant concourir les spectres des divers arcs avec ui de la lumière solaire, on trouve que les raies possèdent tes les nuances que leur assigne leur réfrangibilité; mais ce il y a de plus frappant, c'est que parmi ces raies il en est qui cèdent une intensité absolue énormément supérieure à celle rayon solaire correspondant. Ainsi, dans l'arc de l'argent, on ve une raie verte d'un éclat éblouissant, véritable source de mière simple et qu'on peut rendre aussi intense que l'on veut.

Le physicien qui a étudié avec le plus de soin et de la ma-

nière la plus complète les spectres de la lumière électrique
encore M. Masson, qui s'est servi, pour cette étude, soit de
lumière de l'étincelle produite par la décharge des conden
teurs, soit de celle de l'arc voltaïque. Il a trouvé dans le spe
de l'étincelle électrique dégagée dans l'air toutes les couleu
du spectre solaire[1], et il s'est assuré que les raies brillan
qui le sillonnent sont bien de la même couleur que la partie
spectre de la même réfrangibilité, quoique quelquefois, lo
qu'elles ont trop d'éclat, elles apparaissent comme de la lum
blanche sur un fond coloré. Du reste, en augmentant l'inten
de l'étincelle, on rend bien les raies plus brillantes et p
vives, mais on ne change ni leur position, ni leur nombre, a
que M. Despretz et M. Foucault l'avaient déjà remarqué p
les raies du spectre de l'arc. On peut également, par un acc
sement d'intensité, étendre le violet qui est toujours le p
faible dans le spectre de la lumière électrique, mais on ne p
jamais étendre le spectre du côté du rouge; propriété sembl
à celle que M. Matthiessen a reconnue dans le spectre de la
mière solaire, avec laquelle, comme on le voit, soit par
exemple, soit par ce qui précède, la lumière électrique a
grande ressemblance.

La partie la plus importante des recherches de M. Masson
celle qui concerne les modifications qu'éprouve la distribu
des raies quand on change la nature des métaux entre lesq
s'échappe l'étincelle. Il a constaté que ces raies diffèrent
nombre et en intensité, mais qu'il y a cependant un cert
nombre de *raies communes*, c'est-à-dire qui demeurent
mêmes dans tous les spectres, ce qui indique la mesure
leur déviation qui est partout semblable, tandis que les dé
tions des autres sont très-différentes. Les valeurs de ces d
viations ont été déterminées avec soin par M. Masson pour
très-grand nombre de raies dans les spectres produits p
l'étincelle dans les cas où les électrodes étaient faits des su
stances suivantes : *charbon*, *cadmium*, *antimoine*, *bismu*

[1] Il a également constaté, comme je l'avais déjà fait, mais d'une manière p
complète, que la lumière de l'arc même ne présente jamais aucune trace de p
risation.

Charbon.

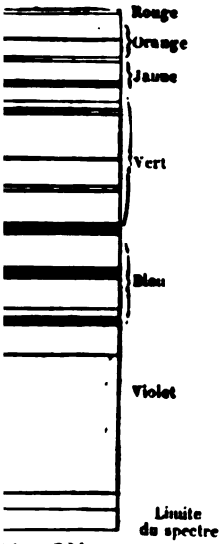


Fig. 224.

Cadmium.

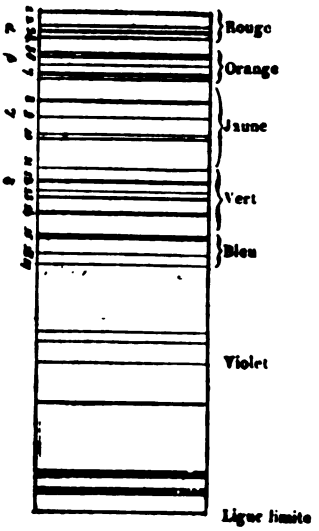


Fig. 225.

Antimoine.

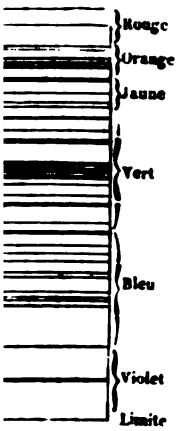


Fig. 226.

Zinc.

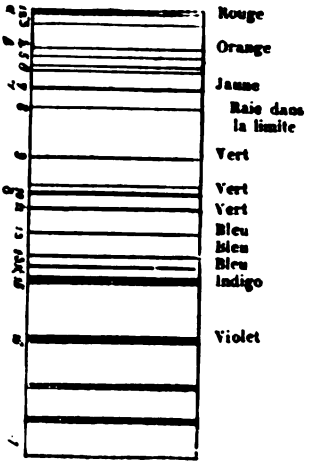


Fig. 227.

fer et cuivre. Ces nombres pourront peut-être une établir le rôle propre de la nature des particules

dans la production de la lumière; pour le moment ils
montrent, par le seul fait qu'ils diffèrent les uns des au
l'existence de ce rôle. Nous ne les rapporterons pas ici;
nous contenterons de quelques remarques. Le chl
(fig. 224) donne dans le violet beaucoup de raies très-b
lantes, mais très-fines; à la fin du violet elles sont séparées
des intervalles absolument obscurs, vu la faiblesse de la lum
Le cadmium (fig. 225) est de tous les métaux essayés
qui donne le spectre le plus beau et le plus net; il est
remarquable par des raies vertes et bleues très-brillantes
spectre de l'antimoine (fig. 226) est sillonné par une multi
de raies très-brillantes, beaucoup plus nombreuses que
spectre des autres métaux. Celui du zinc (fig. 227) co
un vert pomme très-caractérisé; il est assez curieux qu'il
autant de celui du cadmium. Le cuivre donne un spectr
marquable par le nombre des raies fines et brillantes du
et du violet; ceux de l'étain et du fer, du bismuth et du pl
ne présentent rien de particulier, sauf l'étendue du violet
nombre des raies assez confuses que renferme cette couleur

Au lieu de l'étincelle, on peut employer comme lumière
trique celle qui est produite dans l'arc voltaïque, et on ob
avec les électrodes de différente nature des spectres p
ment semblables à ceux que donne l'étincelle dans chaq
Si la pile dont on fait usage est passablement forte (
100 couples de Bunzen), on a des spectres magnifiques q
projettent sur des écrans, comme le spectre solaire avec l
ils rivalisent d'éclat. Seulement, pour faire ces expérien
faut donner à la lumière de l'arc voltaïque une fixité qu
n'a pas naturellement. Dans ce but on fait usage d'un
reil qui, au moyen de la combinaison d'une force méca
et de l'attraction exercée par un électro-aimant sur une
de fer doux liée au système, rapproche les pointes qui se
d'électrodes dès qu'elles sont trop éloignées pour que l
puisse s'établir entre elles, sans cependant leur permettre
venir en contact, ce qui le ferait disparaître.

Plusieurs physiciens ont imaginé et construit des app
fondés sur ce principe; dans le nombre de ces appareils,

de M. Duboscq nous paraît l'un des plus satisfaisants ; il est destiné essentiellement à produire l'arc entre deux pointes

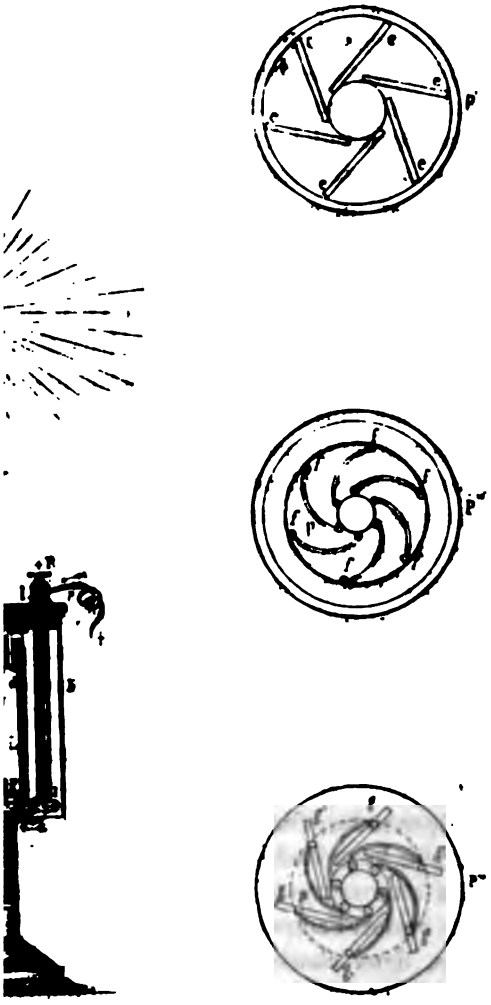


Fig. 228.

is il s'adapte également bien à la production avec des électrodes d'une nature quelconque.

Voici en quelques mots sa description (fig. 228). Les de
bons entre lesquels jaillit la lumière brûlent au contact
se raccourcissent à chaque instant; il faut en conséqu
mécanisme qui les rapproche l'un de l'autre proporti
ment aux progrès de la combustion; et comme le char
sitif subit une usure plus rapide que le négatif, il doit
plus rapidement au-devant de ce dernier, et cela dans
port qui varie avec la grosseur ou la nature du char
mécanisme doit satisfaire à toutes ces exigences. Les de
bons sont sans cesse sollicités l'un vers l'autre; le
inférieur, par un ressort en spirale qui le fait mont
charbon supérieur, par son poids qui le fait descendre. I
axe leur est commun.

Le courant galvanique est produit par une pile de
de 40 à 50 éléments; il arrive aux deux charbons en
comme dans les appareils déjà connus, par un électro
creux et caché dans la colonne de l'instrument. Quand
charbons sont en contact, le circuit est fermé, l'électro
attire un fer doux placé à l'extrémité d'un levier qui
une vis sans fin. Un ressort antagoniste tend toujour
dérayer la vis aussitôt qu'un écart se produit entre
charbons; s'il est un peu considérable le courant ne pa
l'action du ressort redevient prédominante, la vis est
et les charbons se rapprochent jusqu'à ce que, le cou
commençant à passer entre les deux charbons, le mou
qui les entraînait l'un vers l'autre se ralentit en ra
retour de la prédominance de l'électricité sur le res
combustion des charbons augmente de nouveau leur
ment, et, avec lui, l'action supérieure du ressort : d'où
de nouveau la prédominance du ressort, et ainsi de s
sont des alternatives d'action et de réaction, dans le
tantôt le ressort l'emporte, tantôt l'électricité. Sur un a
muu aux deux charbons sont deux poulies; l'une,
peut varier le diamètre à volonté, communique par un
avec la tige qui porte le charbon inférieur, lequel rép
pôle positif de la pile; l'autre, à diamètre invariable,
rapport avec le charbon supérieur ou négatif. Le diamè

susceptible de varier proportionnellement à l'usure du
avec lequel elle communique, peut être augmenté de 3
te disposition a pour objet de conserver le point lumi-
un niveau convenable, quelle que soit la grosseur ou
re des charbons. Il faut seulement savoir qu'à chaque
ment d'espèce ou de volume de charbon on doit faire
le diamètre de la poulie. C e variation résulte de celle
mbour mobile communiqua avec six leviers articulés
centre de la sphère; l'extrémité mobile des six bras
er porte une petite goupille qui glisse dans des fentes
iques. Ces fentes sont obliques par rapport à la sphère;
rment des plans inclinés. Un ressort en spirale appuie
rs sur l'extrémité des levie s, de sorte que si l'on tourne
ns inclinés vers la droite, leviers se replient vers
re et diminuent le diamètr , au contraire, on tourne
gauche, le diamètre augment et, avec lui, la vitesse
slation du charbon qui comm que ec la poulie
P', P'' et P''', fig. 228). Notons en que cet appa-
dapte merveilleusement à la repr uction de toutes les
nces d'optique, même les plus icates, et qu'il rem-
cet égard avantageusement la lumière solaire. Nous au-
u reste occasion d'en reparler en nous occupant des
tions de l'électricité, en particulier de l'éclairage.

les expériences faites avec l'arc voltaïque, le spectre ne
e aucune raie brillante quand la lumière émane de la
olide du charbon en incandescence. Ce résultat est d'ac-
rec celui qu'on obtient en chauffant jusqu'au rouge-
n fil de platine dont le spectre n'offre également au-
ie brillante[1]. On n'en remarque non plus aucune dans
ctres provenant de la lumière d'un arc voltaïque pro-
ntre deux pointes de charbon plongées soit dans l'eau
oit dans l'essence de térébenthine, soit dans l'alcool;

[1] absence de raies dans ce cas, constatée par M. Masson, résultait
rement de recherches fort intéressantes de M. Draper, sur les inten-
meuses et calorifiques d'un fil de platine progressivement échauffé par
t.

mais si on prend pour électrodes dans l'alcool des boules laiton au lieu des pointes de charbon, le spectre présente magnifiques raies brillantes; on remarque alors que le a été fondu, puisque le tiers des boules a disparu et que quide a été rempli d'une matière noire qui est probable de l'oxyde du métal très-divisé, tandis que, quand les électr sont de charbon, le liquide conserve sa transparence, et prouve qu'il n'y a pas eu de transport de particules, d'où qu'il n'y a pas eu de raies. Cette absence de transport est sensible dans l'alcool où l'on peut maintenir pendant longt la même intensité lumineuse en conservant la même di aux charbons. Ajoutons que le spectre de la lumière prov de l'étincelle électrique produite dans les liquides ne pr pas non plus de raies brillantes; peut-être avec des déch plus fortes, qui produiraient un transport de la matiè électrodes, en obtiendrait-on.

Il serait très-intéressant d'étudier l'influence exercée spectre de la lumière de l'étincelle électrique par un ch ment dans la nature ou dans la densité du milieu gaze elle est produite, influence qui, comme nous l'avons vu, grande sur la forme et la couleur de cette étincelle. M. Ma qui a aussi fait quelques expériences sur ce point par lier, a trouvé que la raréfaction de l'air diminue l'intensi couleurs de manière à les faire presque disparaître, qu'elle ne change rien ni au nombre, ni à la position des brillantes qui paraissent plus faibles, il est vrai, sur un absolument obscur.

Dans l'hydrogène, le spectre de l'étincelle présente les m apparences que dans l'air raréfié. On ne distingue pas les leurs du spectre, et sur un fond obscur on aperçoit des brillantes très-faibles. On sait que l'étincelle elle-même l'hydrogène a une lumière rouge-pourpre très-faible, al ment semblable à celle qu'on obtient dans l'air raréfié. Cependant, si l'on veut obtenir l'étincelle dans l'hydrogène, il f pour une même distance explosive, la même quantité d'électr que dans l'air sous la même pression, et la décharge a la m intensité dans les deux cas. La différence dans les deux

qui fait que celle de l'hydrogène devient semblable à l'air raréfié, ne peut donc tenir qu'à ce que les molécules lrogène donnent une lumière moins vive que celles de s l'action de la même décharge, et à ce que les parti- ıtachées de l'électrode éprouvent une incandescence ɔrte dans le premier gaz que dans le second [1].

de détaillée que nous venons de faire de la lumière élec- onfirme tout ce que nous avons dit sur le mode de pro- n de l'électricité, en avançant qu'il ne peut avoir lieu que ermédiaire de la matière pondérable. Masson s'est assuré que le vide barométrique ne peut conduire un courant décharge à moins que la tension de l'électricité ne soit rable, c'est-à-dire qu'elle soit suffisante pour détacher trodes des particules très-divisées. Quant à la lumière, produite par un courant ou une décharge qui, se propa- ar l'intermédiaire de la matière pondérable, l'échauffe même manière, et suivant les mêmes lois qu'un courant ne échauffe et rend lumineux des fils métalliques. L'état ps (solide, liquide ou gazeux) ne modifie en rien les nérales de l'action électro-dynamique; c'est ce que avait déjà démontré en obtenant exactement le même 'aimantation pour des aiguilles d'acier placées les unes ns d'un tube où l'on avait fait le vide de Boyle, les au-dessus d'un conducteur métallique du même dia- ne le tube, faisant l'un et l'autre partie d'un même cir- ersé par une décharge.

t à la lumière elle-même, elle possède toujours les propriétés, quels que soient les moyens employés pour aire, et tous les phénomènes que nous venons d'étudier nfirment dans l'opinion qu'elle résulte bien de l'incan- e des particules du milieu que traverse la décharge ou nt électrique, et de celle des particules qui sont déta- es électrodes dont la présence détermine les raies du

1 évidemment des particules détachées dans l'hydrogène comme dans lé, puisque le spectre présente des raies aussi bien dans l'un que dans

spectre qui varie avec leur nature. Il serait intéressa
dier avec soin la chaleur qui accompagne cette lumi
les divers cas où elle est produite. Nous avons vu qu
cas de l'arc voltaïque où le transport des particules i
centes est considérable et continu, la température
élevée. Mais quand il s'agit de l'étincelle, E. Becque
montré que la chaleur rayonnante est nulle ou très-
qui tient surtout à son peu de durée, car on sait qu'
pendant un pouvoir calorifique assez fort pour déter
combinaison des gaz, de l'hydrogène et de l'oxy
exemple, quand on la transmet entre deux pointes d
dans un endiomètre rempli d'un mélange détonn
dans ce cas même, il faut que la décharge soit assez
pour détacher et entraîner des particules des pointes m
entre lesquelles elle a lieu, ainsi que l'indique la lun
et blanche de l'étincelle, et que le prouve l'état de
quand elles ont servi quelque temps aux expérience
ment les simples lueurs qui résultent de l'incandescen
ment du milieu gazeux ne dégagent pas de chaleu
nante sensible, quoique avec des appareils très-délicat
nécessairement en percevoir un peu.

La lumière électrique jouit encore d'une prop
marquable, savoir, d'exciter la phosphorescence dans
qui en sont susceptibles. Cette propriété est indé
de celle que possède la décharge de produire le mê
En effet, si on introduit des fragments de coquilles
calcinées dans de petits tubes de verre fermés her
ment et placés eux-mêmes dans d'autres tubes plu
et qu'on fasse passer un grand nombre de décharg
triques sur la surface extérieure de ces tubes, les fr
deviennent phosphorescents en les chauffant; la lu
l'arc voltaïque produit le même phénomène, mais à un
degré. L'effet en est dû à la lumière électrique e
l'influence directe de l'électricité, puisqu'en enfer
même substance phosphorique dans des tubes de verr
jaune et bleu foncé, Seebeck a remarqué qu'au
où les trois tubes sont exposés à la lumière de la d

l'y a que la substance qui est dans le tube bleu qui de-
me lumineuse, ce qui prouve que le verre bleu est celui
laisse passer les rayons phosphogéniques de la lumière
trique, comme il laisse passer ceux de la lumière solaire.
. Becquerel et Biot ont fait un très-grand nombre d'expé-
ces pour étudier l'influence de divers écrans sur la trans-
ion de la radiation provenant de l'étincelle, qui produit la
phorescence, et ils ont trouvé qu'elle était très-distincte de
diation lumineuse. Il en est de même de la phosphores-
e produite par les rayons solaires, et ceux de ces rayons
les produisent sont les plus réfrangibles du spectre, tandis
les autres, tels que les rouges, non-seulement ne la pro-
t pas, mais même la détruisent. Les rayons phosphogé-
s de la lumière solaire et ceux de la lumière électrique, sont
à peu près les mêmes, et probablement aussi les mêmes
les rayons chimiques. La propriété phosphogénique de la
ire électrique est donc entièrement liée avec sa propriété
ique que nous avons déjà constatée, et il ne faut nulle-
t la confondre avec la propriété que possède l'électricité
nt directement sur les corps, de les rendre phosphores-
ou de troubler leur état chimique.
reste, la lumière des corps phosphorescents a tellement
pport dans ses différentes teintes et dans son intensité avec
mière que développe l'électricité dans certains cas, qu'il est
difficile de ne pas lui reconnaître une identité d'origine.
hosphorescence est donc très-probablement une lueur ré-
t de petites décharges électriques qui s'opèrent à travers
adhérent à la surface des corps doués de cette propriété;
qui rend cette hypothèse plus probable, c'est que, outre
militude d'apparence, on remarque que tous les moyens et
s les circonstances qui produisent et favorisent le dévelop-
t de la phosphorescence, sont les mêmes qui produisent
vorisent le dégagement de l'électricité, comme nous au-
occasion de le voir quand nous étudierons les sources de
tricité; et c'est surtout que le procédé le plus propre à
re les corps phosphorescents est de les faire traverser par
décharge électrique, et par conséquent de leur donner

directement cette électricité que les autres procédés ne dév pent chez eux qu'indirectement.

En résumé, nous pouvons conclure de tous les faits que avons exposés dans ce chapitre, — 1° que la production de la leur et de la lumière électrique ne peut avoir lieu sans l blissement d'un circuit fermé, dont toutes les parties ex la même action électro-dynamique extérieure, conform aux lois de Ohm; — 2° que cette production a lieu da points du circuit où l'électricité en mouvement (soit déch soit courant) éprouve le plus de résistance; — 3° que les ties des conducteurs qui limitent les portions du circuit résistance est la plus grande, et où naissent par conséqu chaleur et la lumière, éprouvent des modifications calori lumineuses et moléculaires qui dépendent à la fois de la ture propre et de celle de l'électricité (positive ou négativ ils sont les électrodes; — 4° que ces modifications sembl diquer que le mouvement de rotation des particules, l'accélération produite par la transmission de l'électri la cause probable de la chaleur et de la lumière électriqu influencé, soit par la nature même des substances, soit sens de la décharge ou du courant; lesquels déterm dans le cas de l'étincelle et de l'arc, un mouvement de lation outre celui de rotation.

Liste des principaux travaux relatifs aux sujets traités dans ce chap

Cuthberson. — Incandescence des fils par la décharge. — *Bibl. Brit.* T. p. 111.

Van Marum. — *Idem.* — *Bibl. Brit.* T. LVI, p. 210.

Fourcroy, Vauquelin et *Thénard.* — Incandescence par la pile. — *de ch.* T. XXIX, p. 103.

Children. — Effets calorifiques d'une forte pile. — *Bibl. univ.* (181 p. 109.

Davy. — Effets calorifiques de la pile. — *Bibl. Brit.* T. XX, p. 319; p. 307, et t. XXXV, p. 170. — Arc voltaïque. — *Bibl. Brit.* T. LIII, p. *Transac. phil. de* 1821 (2e partie), p. 425. — Étincelles dans le vide *nales de ch. et de phys.* (1822). T. XX, p. 168.

De la Rive. — Chaleur dans les liquides. — *Arch. de l'élec.* T. II, et t. III, p. 175. — Pouvoir réchauffant du courant. — *Annales de ch. et*

p. 371, et t. LII, p. 147. — Arc voltaïque. — *Arch. de l'élect.* T. I, et *Arch. des sciences phys.* T. IV, p. 345.
. — Thermomètre électrique. — Lois du réchauffement. — *Bibl. univ.* T. XXII, p. 367. — *Annales de ch. et de phys.* T. LIX, p. 113, et t. LXXIV, . — *Archiv. de l'élect.* T. I, p. 555. — *Arch. des sc. phys.* T. I, et t. XVII, p. 48. — *Ann. der physik. Passim*, et *Traité de l'électr. tement.*
. — Réchauffement des fils par la décharge. — *Trans. phil.* (1834)
. — Lois du réchauffement par les courants. — *Arch. de l'électr.* , 54, et t. IV, p. 483.
querel. — *Idem.* — *Annales de ch. et de phys.* (N. S.) T. IX, p. 21.
ncescence et rayonnement de l'étincelle. — *Bibl. univ.* T. XX, p. 344
— *Idem.* — *Ann. der physik.* T. LIX, p. 203 et 467, et t. LI, p. 18.
par le courant. — *Bibl. univ.* (N. S.). T. XVII, p. 387.
. — Chaleur et froid produit par le courant. — *Annales de ch. et de* XXVII, p. 371.
. — Influence du milieu sur le réchauffement. — *Trans. of the demy.* Vol. XXII (part. I), p. 3.
. — *Idem.* — *Arch. des sc. phys.* T. IX, p. 140, et t. XII, p. 165. — et détagration. — *Bibl. univ.* (1839). T. V, p. 18 et 122; t. XXV, et t. XXIX, p. 387.
. — *Idem.* — *Arch. des sc. phys.* T. XXII, p. 269.
. — Chaleur dégagée dans la pile. — *Annales de ch. et de phys.* (N. S. 393.
ey. — Lumière et apparence de l'étincelle. — *Trans. phil.* — *Collec- Memoires* et *Bibl. univ.* T. XVII, p. 178.
— Stratification de l'étincelle d'induction. — *Comptes rendus de l'Acad.* T. XXXV, p. 949. — Influence de l'aimant sur l'arc voltaïque. — *Idem.*
— Lumière et chaleur électrique. — *Arch. des sc. phys.* T. I, p. 30, et 291.
. — Étincelles dans les liquides. — *Bibl. univ.* (1843). T. XLVII,
. — Arc voltaïque. — *Annales de ch. et de phys.* — T. XXIV,
. — Arc voltaïque. — *Comptes rendus de l'Acad. des sc.* T. XXX, , et t. XXXI, p. 418. — Formation du diamant. — *Compte rendu de des sc.* T. XXXVII (5 et 19 sept. 1853).
rada. — Arc voltaïque. — *C. R. de l'Ac. des Sc.* T. XXVIII, p. 426, et *sc. phys.* T. III, p. 32.
. — *Idem.* — *Arch. des sc. phys.* T. XII, p. 5, t. XIII, p. 223, p. 205, et *Annales de ch. et de phys.* (N. S.). T. XXXVII, p. 44.
il. — *Idem.* — *Arch. de l'électr.* T. I, p. 492.
tt. — Réchauffement du fil positif. — *Bibl. univ.* T. XVIII, p. 369.

Fizeau et *Foucault*. — Lumière électrique. — *Arch. de l'électr.* p. 311.

Foucault. — *Idem*. — *Arch. des sc. phys.* T. x, p. 222.

Masson. — Photométrie électrique. — *Annales de ch. et de phys.* T. xiv, p. 129, t. xxx, p. 5, et t. xxxi, p. 295.

Wheatstone. — Raies du spectre électrique. — *Traité de physique querel*. T. ii, p. 127.

Duboscq. — Régulateur électrique. — *Comptes rendus de l'Acad.* t. xxxi, p. 807.

Becquerel. — Chaleur et lumière électrique ; phosphorescence. — *d'électricité* et *Traité de physique*.

Draper. — Lumière d'un fil de platine incandescent. — *Phil. Mag.* p. 345 (1847).

Viard. — Chaleur dans les fils métalliques par le courant. — *C. R. des Sc.* T. xxxix, p. 904[1].

[1] M. Viard a vérifié directement par l'expérience l'explication donnée par Ch l'effet du milieu ambiant sur la chaleur développée par le courant dans les fils m Il a montré par l'introduction d'un rhéostat dans le circuit, que la chaleur dével toujours proportionnelle à la résistance réelle qui existe au moment du passage du comme l'avait déjà prouvé M. Robinson (p. 423); de sorte que la présence du refroidissant, en augmentant la résistance du fil qu'il entoure, fait que le courant loppe plus de chaleur. Mais si, en raccourcissant le fil du rhéostat, on rend la égale à ce qu'elle était lorsque le fil était entouré du gaz plus refroidissant, alors la de chaleur dégagée par le courant est la même qu'elle était dans ce dernier cas.

CHAPITRE III.

EFFETS CHIMIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE.

I. Décompositions opérées par le courant voltaïque.

holson et Carlisle, peu de temps après que Volta eut con-
sa pile, parvinrent à décomposer l'eau en y plongeant
ils métalliques, dont l'un communiquait avec le pôle po-
et l'autre avec le pôle négatif. Les deux fils étaient en
: celui qui communiquait avec le pôle + ne donnait point
z, mais éprouvait une oxydation, tandis que celui qui
uniquait avec le pôle — dégageait de l'hydrogène. La
tion du gaz était d'autant plus abondante, que les deux
ient plus rapprochés. Ces observateurs remarquèrent
re que la décomposition de l'eau n'a pas lieu seulement
es deux pôles de la pile, mais aussi entre les métaux de
ouples consécutifs séparés par le conducteur humide.
s réussirent aussi bien à obtenir l'oxygène que l'hydro-
remplaçant par des fils de platine les fils de cuivre qui
aient la communication entre l'eau et les pôles de la
es deux gaz peuvent être recueillis séparément, si on a
placer au-dessus de chaque fil un tube rempli d'eau au
uquel le gaz qui se dégage se rend naturellement ; il
e les deux tubes ne touchent pas le fond du vase, afin
deux fils plongent bien dans la même eau[1].
skhanks, le premier, obtint un effet en plongeant dans
es séparés chacun des pôles de la pile, qui étaient des fils
nt, et en réunissant en même temps par un autre fil d'ar-
deux vases : il vit l'hydrogène se dégager du fil qui com-

[1] t. I, p. 29. fig. 18.

muniquait avec le pôle — de la pile, tandis que le bout d
plongeait dans ce même vase était attaqué. L'autre bo
même fil qui plongeait dans le second vase dégageait de l
gène, et enfin le fil qui communiquait avec le pôle + ét
qué. Le même physicien, ayant plongé deux fils d'arge
une solution étendue de nitrate d'argent dans l'amm
obtint au fil négatif d'abord une production abondante
ensuite des filaments qu'on reconnut être de l'argent
lique. Le fil d'argent qui communiquait avec le pôle p
donnait point ou que peu de gaz, vu qu'il était attaqu
des fils de cuivre plongeant dans une solution de cu
moniacal, Cruiskhanks obtint du cuivre métallique a
fil négatif : le liquide perdit sa couleur, et devint sem
de l'eau distillée, le cuivre ayant été tout précipité.

Sans nous arrêter aux autres expériences du même
Cruiskhanks, ni à celle de Henry sur la décomposition
moniaque, nous ajouterons que Davy obtint des résult
blables, mais sur une plus grande échelle, avec une
110 couples qui lui permit de constater que si, au lieu
nir par un fil de métal les vases pleins d'eau où plonge
fils d'or qui communiquent chacun aux pôles de la
établit la communication par un morceau de muscle
par une fibre végétale, les gaz se dégagent à l'extré
fils polaires, l'hydrogène au fil négatif et l'oxygène au
Il en est de même si la communication entre les vases es
par l'intermédiaire du corps humain, ce qu'il est facile
en y plongeant un doigt de chaque main. Il n'y a aucun
ment gazeux aux extrémités de la fibre ou des doigts
immergés dans l'eau de chacun des vases, comme il
quand c'est un fil métallique qui les réunit. Davy rema
core que si l'on fait communiquer au moyen de fibres
laires chacun des pôles de la pile avec un vase rempli
qu'on réunisse les deux vases par un fil d'argent, on ob
dégagement d'hydrogène à l'extrémité du fil qui plonge
vase positif et une oxydation à l'extrémité qui plonge
vase négatif.

Dans toutes ces expériences, les gaz hydrogène et oxy

pas toujours bien purs, mais ils sont plus ou moins mé-
és avec de l'azote qui provient de l'air atmosphérique dis-
dans l'eau; cependant, en prenant bien des précautions et
e se servant que de fils non susceptibles de s'oxyder, tels
les fils d'or, Davy trouva que les gaz oxygène et hydrogène
gageaient bien dans la proportion qui constitue l'eau.
usieurs physiciens avaient cru apercevoir la formation de
s nouveaux, et en particulier celle d'un acide particulier
l'action de la pile sur certains liquides; mais Davy, repre-
tout le sujet, parvint, après une série de laborieuses re-
ches, à établir sur des bases parfaitement solides le véri-
pouvoir chimique de l'électricité voltaïque. Il voulut,
it tout, constater que dans les décompositions électro-
niques il n'y avait jamais d'autres éléments dégagés à cha-
des pôles que ceux contenus dans les corps soumis à l'action
'électricité voltaïque. En opérant avec des vases de diverses
stances, d'agate, de cire, de marbre de Carrare et de verre,
ouva bien des alcalis au pôle négatif et des acides au pôle
tif, mais il s'assura que ces alcalis et ces acides provenaient
substances mêmes des vases que l'eau parvenait à dissoudre,
out sous l'influence de l'électricité. On pouvait même voir,
nd on avait obtenu beaucoup de soude avec un vase de verre,
celui-ci était fortement attaqué à son point de contact avec
l de métal. Ayant observé encore des traces d'acide et d'al-
avec des vases d'or, Davy s'assura que ces éléments prove-
ent d'une petite quantité de sel demeurée en dissolution
s l'eau même distillée, et étant parvenu à en dépouiller com-
lement cette eau, il n'eut plus de trace ni d'acide ni d'alcali,
f dans quelques cas où il y avait un peu d'ammoniaque
pôle négatif et d'acide nitreux au positif, dont la formation
it évidemment due à la combinaison de l'hydrogène et de
ygène à l'état naissant avec l'azote dissous dans l'eau. En
t, en plaçant l'eau soumise à la décomposition dans le vide,
encore mieux dans l'hydrogène, il n'y eut plus aux deux
les que de l'oxygène et de l'hydrogène parfaitement purs.
Ainsi il est bien établi que l'électricité dynamique agissant
r les corps susceptibles d'être décomposés ne *produit* point

d'éléments nouveaux, mais qu'elle les *dégage* des sub
soumises à son action, tout en facilitant, par leur dégag
à l'état naissant, leur combinaison avec d'autres élémen
sents. Il est assez remarquable que, sous l'action d'un
électricité, les substances en apparence les plus insoluble
sent être décomposées; c'est ce que prouve un très-grand n
d'expériences de Davy sur le verre, sur le marbre, s
sulfates de strontiane et de baryte employés comme vase
plis d'eau.

L'électricité dynamique non-seulement dégage les élém
les séparant, mais elle les transporte, caractère qui n'app
qu'à ce mode de décomposition. C'est ce que Berzélius et
ger avaient déjà établi. En opérant avec des fils de dif
métaux et des solutions de nature diverse, soit séparée
mélangées, quelquefois différentes, quelquefois sembla
chacun des deux pôles, ils étaient parvenus à bien consta
pouvoir de transport qui accompagne le pouvoir décom
de la pile voltaïque. Pour mettre des liquides différe
contact avec chacun des fils polaires, ils se servaient d'
phon dont les branches, fermées par des bouchons aj
leurs extrémités et traversés par les fils, étaient rempli
qu'aux deux tiers de leur hauteur, l'une par un liqui
que du sulfate de potasse, l'autre par un autre liquide, t
du muriate d'ammoniaque. La partie supérieure du s
renfermait de l'eau distillée pour mettre les deux li
en communication; elle était percée à son sommet de qu
trous destinés à laisser passer les gaz. Ils avaient con
toutes leurs expériences que, lorsque l'électricité trave
liquide, les principes qu'il renferme sont séparés; que
gène et les acides sont transportés au pôle positif, l'
gène, les alcalis, les terres et en général les bases au n
et cela aussi bien quand les solutions salines dans lesq
plongent les fils métalliques qui partent de chacun des
sont hétérogènes que lorsqu'elles sont semblables. Les ré
nombreux auxquels ils étaient parvenus leur avaient au
montré l'influence sur l'énergie de la décomposition, de l
due du contact des fils polaires avec les liquides, et le rô

e dans la production des effets observés l'affinité des éléents de ces liquides pour la substance des fils, ainsi que leur nité réciproque quand il y a plusieurs liquides différents mis à la fois à l'action décomposante.

fois c'est Davy qui, par l'exactitude et le nombre de ses exiences, a analysé complétement cette faculté de transport : possède l'électricité dynamique, et qu'on ne doit pas condre avec celle que nous avons déjà décrite dans le chapitre cédent, car elle ne se manifeste qu'avec la décomposition. Il t, pour bien étudier ce phénomène, se servir de capsules ou ubes en verre dans lesquels place les liquides qu'on veut e traverser par le courant; plonge dans chacune des cap-

Fig. 229.

es, quand il y en a deux (fig. 229), ou dans les capsules exnes, quand il y en a plus de deux (fig. 230), les fils ou les es de platine qui communiquent, l'un avec le pôle +, l'autre c le pôle — de la pile; puis on réunit les liquides des cap-

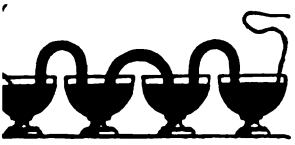


Fig. 230.

Fig. 231.

es les uns aux autres au moyen de mèches de coton ou abeste bien imbibées d'eau (fig. 231), ou par des tubes forme de syphon remplis au bien pure (fig. 229, 230). and on veut recueillir les gaz gagés, on entoure chacun fils polaires d'un tube fer- en haut et ouvert en bas, on remplit du même liquide i est contenu dans le vase où plonge, et on réunit les deux ses (fig. 232). Si, se servant deux capsules, on met dans

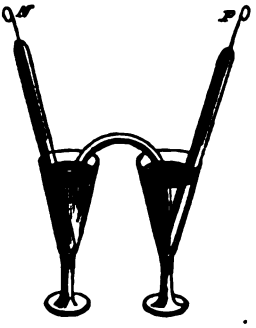


Fig. 232.

l'une de l'eau distillée, et dans l'autre une solution saline, l base ou l'acide passe dans l'eau distillée, suivant que le co ducteur métallique qui y plonge est le négatif ou le positif. faut avoir soin de maintenir toujours le niveau de l'eau disti lée plus haut que celui de la dissolution, pour qu'aucune part de celle-ci ne passe dans l'eau. En prenant cette précautio on peut s'assurer, par exemple, avec du sulfate de magnés qu'il ne passe que de la magnésie pure dans l'eau distillé quand cette eau est en communication avec le pôle négatif, qu'il n'y a pas trace d'acide sulfurique, puisqu'un sel de b ryte ne produit aucune précipitation.

Pour connaître jusqu'où s'étend cette faculté de transpo il faut faire usage de trois capsules au moins (fig. 231) : on pla la solution saline dans l'une des deux extrêmes, de l'eau di tillée dans l'autre, et un réactif dans la capsule intermédiair Si ce réactif est de l'eau colorée en bleu par de la teinture tournesol, en versant une dissolution de sulfate de potasse da la capsule négative, on ne voit point l'eau colorée rougir par passage de l'acide sulfurique ; mais la première impression rougeur ne se montre qu'à l'extrémité de la mèche d'amian qui fait communiquer l'eau colorée avec le vase positif, c'es à-dire du côté le plus éloigné du vase d'où vient l'acide sulf rique. La même chose se passe pour l'alcali quand la dissol tion saline étant placée dans le vase positif, il est transporté pôle négatif. Il est facile même de démontrer que cette color tion de l'eau bleue en rouge par l'acide, en vert par l'alcali, provient que de la diffusion de l'acide qui est tout porté auto du fil positif, et de l'alcali qui est tout porté autour du fil n gatif. Il n'y a, pour cela, qu'à se servir, comme je l'ai fait, d'u gros tube partagé en trois compartiments égaux, par des diaphragmes en vessie qui laissent passer le courant sans pe mettre aux liquides de se mêler : ces trois compartiments fo l'office des trois capsules ci-dessus.

L'expérience que nous venons de rapporter montre donc qu sous l'influence du courant qui les transporte, l'acide et l'alca perdent la propriété de changer la couleur bleue végétale. Po savoir jusqu'à quel point leur activité chimique est neutralisé

remplacer l'eau colorée de la capsule intermédiaire par
bstances liquides qui aient plus ou moins d'affinité pour
ou la base qui sont transportés, et s'assurer s'ils sont
au passage par ces substances. On constate de cette ma-
ju'une solution d'ammoniaque, de soude, de potasse ou
ux, n'arrête point l'acide sulfurique, ni l'acide nitrique,
de hydrochlorique, qui continuent à se rendre dans l'eau
e de la capsule positive, quand on a mis des sels de ces
en dissolution dans la capsule négative. Si les dissolutions
sont placées dans la capsule positive, on voit leurs bases
lre dans l'eau distillée de la capsule négative à travers
les placés dans la capsule intermédiaire. Il faut passa-
nt de temps (24 à 48 heures) pour que ces effets se ma-
nt d'une manière bien prononcée, et il est nécessaire
er et de laver de temps à autre dans de l'eau pure les
d'amiante qui font communiquer les capsules entre
a pile doit être composée d'un nombre de couples assez
rable, qui dépend du reste de l'espèce de pile dont on
; mais il est facile de déterminer dans chaque cas le
e de couples nécessaire pour que l'effet se manifeste,
ju'il y a toujours quelques bulles de gaz qui, en se dé-
t aux fils polaires, indiquent le moment où le courant
z fort pour passer.
t cependant des cas où la substance transportée est
par celle qu'elle traverse; l'acide sulfurique, par
le, ne peut traverser les dissolutions de strontiane et de
, et ces deux bases ne peuvent pas à leur tour traverser
sulfurique. Ainsi, si l'on place une dissolution de sulfate
asse dans la capsule négative, de l'eau distillée dans la
e et une solution saturée de baryte entre deux, on n'ob-
même au bout de 30 heures, et avec une pile de 150
s, aucune portion appréciable d'acide dans l'eau dis-
mais il se forme dans le vase intermédiaire beaucoup
fate de baryte. Ainsi encore, une dissolution d'hydrochlo-
e baryte étant placée dans la capsule positive, du sulfate
asse dans la capsule intermédiaire, on voit la potasse
re bientôt dans l'eau distillée qui est dans la capsule néga-

tive, et un précipité abondant de sulfate (baryte se form dans le vase du milieu. Si la dissolution ermédiaire est sulfate d'argent, l'hydrochlorate de baryte étant placé côté négatif, on voit de l'acide sulfurique paraître dans l'e distillée du côté positif, et un précipité abondant de chloru d'argent se former dans la solution d'argent.

Les expériences qui précèdent montrent donc que la pu sance neutralisante du courant a une limite qui dépend du d gré d'affinité de la substance transportée pour celle qui (contenue dans la solution qu'elle traverse; que, par exempl l'acide sulfurique peut traverser une dissolution de potasse, soude, etc., sans être arrêté, mais qu'il est arrêté par une di solution de baryte, parce qu'il forme avec elle un composé i soluble. Elles montrent encore qu'il peut se faire un échan de base ou d'acide entre le courant et la dissolution qu'il tr verse, de telle façon que le courant cède à cette dissoluti l'acide ou la base qu'il transportait, et prend à sa place l'aci ou la base du sel dissous.

Un phénomène analogue et non moins important pour théorie des décompositions électro-chimiques est que certain bases peu ou point solubles, telles que la magnésie et plusieu oxydes métalliques provenant de dissolutions salines placé dans la capsule positive, peuvent bien passer dans la capsu négative remplie d'eau distillée, si les deux capsules comm niquent seulement par une mèche d'amiante; mais si l'on i terpose entre elles un vase d'eau pure en établissant, toujou au moyen de mèches d'amiante, la communication entre vase et les deux autres, alors les particules transportées tombe au fond de l'eau du vase intermédiaire, et ne vont pas jusqu'a vase négatif.

Jusqu'ici nous n'avons parlé que de la décomposition des se et de l'eau, mais Davy trouva que l'eau n'est pas le seul com posé binaire que le passage de l'électricité puisse séparer da ses éléments, que les acides et les oxydes sont aussi décom posés, et il parvint ainsi à démontrer que la potasse, la soud et les différentes terres ne sont que des oxydes dont il réussi à obtenir le métal. Ayant pris un morceau de potasse pure qu

été quelques instants expo à l'air, de manière à devenir
ncteur à sa surface à cause de l'humidité qu'il avait atti-
l le plaça sur une plaque i lée de platine mise en com-
cation avec le pôle négatif d'une forte pile voltaïque de
ouples, puis il toucha la surface supérieure du morceau
une pointe de platine communiquant au pôle positif. Il se
gea autour du fil une grande quantité de gaz qu'on re-
nt être de l'oxygène pur, et on découvrit à la partie infé-
e de la potasse des petits globules qui avaient un éclat
llique brillant, mais qui ne tardèrent pas à être ternis et
verts par un enduit blanc qui se formait à leur surface.
globules décomposaient l'eau avec une grande vivacité,
geant de l'hydrogène, et s'oxydant avec développement de
ur et de lumière. Dans l'air sec ils se recouvraient seule-
d'une couche d'oxyde qui, faute d'humidité pour la dis-
e, restait sur la surface en protégeant l'intérieur de la
nce contre l'action de l'oxygène.

morceau de soude présenta exactement les mêmes phéno-
s; il fallait seulement une pile un peu plus forte pour
ir les globules métalliques, et ceux-ci étaient eux-mêmes
rapidement oxydés à l'air.

ès avoir prouvé que la potasse et la soude sont donc des
s de deux métaux qu'il nomma *potassium* et *sodium*, Davy
t à en obtenir une assez grande quantité, en les recueillant
ure qu'ils étaient formés dans de l'huile de naphte récem-
distillée, qui est sans action sur eux, et où ils se conservent
tement intacts. Ces deux substances ont toutes les pro-
s des métaux, et elles en ont l'éclat, présentant un aspect
semblable à celui de l'argent poli. Elles conduisent la
ur et l'électricité; elles fondent, le potassium à 75° 5, et le
m seulement à 82° 5, elles cristallisent et deviennent cas-
s à 0°. Leur densité est moindre que celle de l'eau [1]. Ces
métaux s'amalgament facilement avec le mercure, et c'est
e un moyen de les retirer de leurs oxydes : on met un
le de mercure sur un morceau de potasse ou de soude

[1] Celle du potassium est de 0,865, et celle du sodium de 0,972.

placé lui-même sur une lame de platine qui communiq le pôle positif, puis on fait aboutir dans le globule un de platine liée au pôle négatif de la pile. Le métal est ensuite facilement retiré de son amalgame par la dis opérée dans l'huile de naphte, et les petits globul nus, soit de cette manière, soit directement, sont c en un seul culot par la fusion opérée toujours dans l'l naphte.

Davy étendit plus tard sa découverte à d'autres comp grâce à ses travaux et à ceux de quelques autres chin fut démontré que toutes les terres et les alcalis fixes étı oxydes métalliques dont on parvint à extraire plus o facilement les bases, d'abord au moyen de la force décon de l'électricité dynamique, plus tard par des procéd ment chimiques. Nous aurons l'occasion de comparer modes dans celui des chapitres de la sixième partie c aux applications, qui aura pour objet l'emploi de l'él dynamique pour l'extraction des métaux.

Les phénomènes fondamentaux des décompositions chimiques que nous venons de décrire suffisent déjà pc permettre de constater quelques principes généraux. ils nous prouvent que la décomposition électro-chimi un phénomène d'électricité dynamique, et non un mène d'électricité statique. En effet, tout ce qui le passage du courant facilite la décomposition; c'est Gay-Lussac et Thénard ont achevé de démontrer da recherches physico-chimiques. Ils ont prouvé que la de gaz dégagée dans la décomposition de l'eau, tr quand l'eau est pure, augmente avec la quantité d d'acide qu'on y dissout, et par conséquent avec son conductibilité; qu'elle est également, jusqu'à une limite, plus grande à mesure que s'accroît la surface tact entre le liquide et les conducteurs polaires. L'é de température qui augmente la conductibilité du facilite sa décomposition. Tous ces résultats montr qu'il est impossible d'attribuer la décomposition des une attraction exercée par les deux pôles sur les m

nantes, les unes positives, les autres négatives, et qui analogue aux attractions et aux répulsions électriques ires.

autre point bien établi, c'est que la portion du liquide décomposée est uniquement celle qui est en contact avec ducteurs polaires, qu'elle soit la même ou qu'elle soit nte aux deux pôles, ainsi que l'ont prouvé les recherches inger et Berzélius. Les liquides intermédiaires, quand sont séparés les uns des autres et des liquides polaires ar des diaphragmes poreux ou des conducteurs hu- n'éprouvent aucune altération dans leur composition, ms les cas exceptionnels que nous avons signalés plus l'après Davy. C'est également sur la surface des métaux vent de pôles que se déposent les éléments séparés, le prouvent la simple inspection quand il s'agit des ts gazeux et solides, et l'emploi des réactifs quand il les éléments liquides. On cite quelquefois comme preuve liquide interposé entre les pôles se constitue par moitié x états opposés de tension électrique, l'expérience élé- l'une solution saline, de de soude, par exemple, en bleu qui, placée, m tube en forme de U 33), se colore moitié en moitié en vert, quand mise dans le circuit de au moyen de deux fils de

Fig. 233.

. Mais cette double coloration n'est que l'effet de la dif- de l'acide et de l'alcali qui, dégagés à chacun des pôles, ndent graduellement dans les parties environnantes du . C'est ce que j'ai prouvé en plaçant la solution saline n vase séparé en trois compartiments par deux vessies npêchent les solutions contenues dans chacun des com- ments de se mélanger, tout en permettant au courant de verser. Quelque longue qu'ait été la durée de la décom- n, la couleur du liquide contenu dans la case du milieu ent été altérée, tandis que les liquides renfermés dans les

deux cases extrêmes où plongeaient les deux pôles ont c complétement de couleur.

Nous avons vu que si l'on a à la suite les uns des autr sieurs vases remplis d'eau acidulée ou d'une solution sal que si, au lieu de les unir par des conducteurs humides, on communiquer les uns aux autres par des arcs métalliq a alors dans chaqu séparément, une dé sition exactement la que celle qui aurait le liquide de ce vas seul dans le circuit. on obtiendra dans le tubes de chacun de vases de la fig. 234, q remplis d'eau acidu l'oxygène et de l'hyd

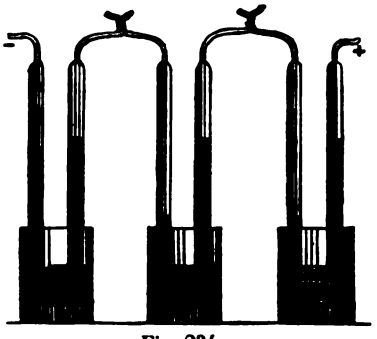


Fig. 234.

dans la proportion qui constitue l'eau, l'oxygène étant d tubes tournés du côté du pôle positif, et l'hydrogène dan tournés du côté du pôle négatif. De même si on a une s tubes en U (fig. 235) r d'une solution salin rée en bleu, et réu des fils de platine c en formes d'arc et geant par une de le trémités dans l'un c bes, et par l'autre c

Fig. 235.

suivant, tandis que les deux branches extrêmes commun par des fils de platine, l'une avec le pôle positif, l'aut le pôle négatif de la pile, on voit la solution se col rouge dans toutes celles des branches des tubes qui son nées du côté du pôle positif, y compris celle où plonge c et en vert dans toutes celles qui sont tournées du c pôle négatif, y compris celle qui communique imm ment avec ce pôle. Il suffit de changer les deux pôles d pour voir toutes les parties rouges et vertes du liquide re

l au bleu, puis celles qui étaient rouges passer au vert, s qui étaient vertes passer au rouge.

oint important à noter, c'est que, lorsqu'on décompose tions salines, il y a en même temps un dégagement ga- ux pôles, qui semble indiquer une décomposition simul- e l'eau. Toutefois il y a une différence importante à faire ard entre les sels dont la base se montre à l'état d'oxyde négatif, et ceux où elle paraît à l'état métallique revi- ans ce dernier cas, il y a, comme dans le premier, ment de l'oxygène avec l'acide au pôle positif, mais il s d'hydrogène au pôle négatif, comme si ce gaz était é à réduire l'oxyde qui forme la base du sel. Nous ver- s tard ce qui se passe exactement dans ce cas. Bornons- our le moment, à remarquer que le métal revivifié se tantôt à l'état de lames adhérentes à la surface du con- qui sert de pôle, quelquefois à l'état de poudre, quel- à l'état cristallin ou en formant des arborisations ables. L'une des plus élégantes est celle qu'on obtient rvant de l'acétate de plomb et en plongeant au milieu e qui renferme cette solution un fil de platine en com- ion avec le pôle négatif d'une pile dont l'autre pôle nique également avec le liquide par le moyen d'un fil e lame qui plonge vers le bord du vase. Si le courant s trop fort, les arborisations se forment lentement et anière très-brillante, tandis qu'elles sont confuses avec ant très-énergique. La force du courant influe, en effet, nous le verrons, aussi bien que la nature même du sel à l'action décomposante de l'électricité, sur la structure ts qui ont lieu dans ce cas.

t de pousser plus loin l'étude des phénomènes de dé- ition et la recherche des lois précises qui les régissent, yons utile de faire connaître ici la manière ingénieuse otthus a réussi à les expliquer. Partant du principe posé y. et admis plus tard par Berzélius et par Ampère, que mes constituants des corps sont, les uns électro- , et les autres électro-négatifs, et que c'est en vertu raction mutuelle des éléments électro-positifs et des

éléments électro-négatifs que la combinaison chimique s'
père, voici comment il rend compte de ce qui se p
dans la décomposition électro-chimique d'un composé q
conque, de l'eau, par exemple. Dès qu'un filet d'eau est p
dans le circuit, il est polarisé, comme nous avons vu que
l'être tout conducteur interposé entre les pôles [1]; mais l'hy
gène étant un corps éminemment positif, les molécules d'hy
gène de chaque particule d'eau se tournent du côté du
négatif, et les molécules d'oxygène, qui est éminemment né
du côté du pôle positif (fig. 236) [2]. Le courant passe, c'

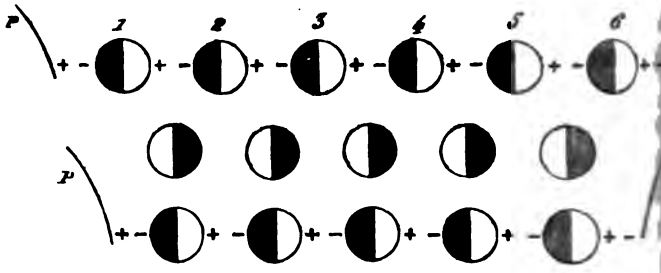


Fig. 236.

dire qu'il y a décharge des molécules consécutives entre e
des deux molécules extrêmes avec les pôles. Il en résulte
l'oxygène négatif de la molécule d'eau n° 1, qui est en co
avec le pôle positif P, se dégage contre ce pôle avec l'électri
duquel son électricité négative se combine, et que l'hydro
positif de la molécule n° 6, en contact avec le pôle néga
dégage de même contre ce pôle; maintenant, l'hydrogène
molécule d'eau n° 1 se combine avec l'oxygène de la mol
n° 2, l'hydrogène du n° 2 avec l'oxygène du n° 3, et ainsi de
jusqu'à la dernière particule. En d'autres termes, la déc
qui s'opère entre les molécules d'eau consécutives pour co
tuer le courant, tirant tous les hydrogènes du pôle + au p
et tous les oxygènes du pôle — au pôle +, elle libère l'hy

[1] Tome II, page 5.

[2] Dans chaque molécule d'eau la particule d'hydrogène est claire, cell
gène est ombrée.

de la molécule en contact avec le pôle —, et l'oxygène de la
vle en contact avec le pôle +, et oblige en même temps
es oxygènes et hydrogènes des particules intermédiaires
combiner ensemble pour reformer de l'eau. La se-
série des particules de la fig. 236 représente ces nou-
particules d'eau. Ce que le premier passage opère,
nd passage l'opère de même, c'est-à-dire que les parti-
ont de nouveau polarisées, et par conséquent doivent
faire une demi-révolution pour que les oxygènes soient
s du côté du pôle + et les hydrogènes du côté du pôle
mme les représente la troisième série des particules de
ire 236; puis la décomposition a lieu, ainsi que l'é-
e des parties constituantes entre chacune de ces par-
, avec dégagement de gaz aux particules extrêmes, et
e suite tant que le courant est transmis. On voit donc,
'il n'y a que de l'oxygène au pôle + et que de l'hy-
ne au pôle —, qu'on n'est plus embarrassé pour expli-
e que devient l'hydrogène de la particule en contact avec
e positif, et l'oxygène de celle qui est en contact avec le
égatif.
plication que nous venons de donner, en prenant l'eau
exemple, s'applique également bien à la décomposition
it corps composé. Dans le cas où la solution interposée
les pôles n'est pas homogène, mais se compose de deux
is solutions différentes, l'échange se fait de même. Ainsi,
ôle positif est en contact avec une solution de nitrate de
e et le négatif avec une solution de sulfate de soude,
e sulfurique de la dernière particule du sulfate et la po-
le la première particule du nitrate se combinent, en libé-
me molécule de soude au pôle —, et une d'acide nitrique
le +, puis cette particule d'acide sulfurique se combine
me seconde de potasse, en libérant une seconde particule
ude au pôle —, une seconde d'acide nitrique au pôle +,
à ce qu'enfin l'acide sulfurique parvienne aussi au pôle +
potasse au pôle —, et que, conformément aux observa-
de Berzélius et de Hizinger, on ait les deux acides au
+ et les deux bases au pôle —. S'il y a une troisième solu-

tion entre les deux, c'est également par voie de décom et de combinaison que se fait le passage du courant et port des particules. Seulement si le composé moment formé est insoluble, alors, comme nous l'avons vu, ses ne sont plus transportés aux deux pôles, et sont remp ceux qui n'ont pas formé de composé insoluble. Ainsi, lution interposée est de l'hydrochlorate de baryte, l'a furique formant avec la baryte un composé insolubl fate de baryte est précipité au fond du vase intermédia remplacé au pôle + par l'acide hydrochlorique. De m sel placé au pôle positif est du nitrate d'argent, et ce au milieu de l'hydrochlorate de soude, l'argent q avec l'acide hydrochlorique un corps insoluble, est p et la soude se rend au pôle négatif à sa place.

Nous verrons plus loin que cette théorie rend très-bie des faits généraux, ainsi que des phénomènes second l'étude plus approfondie que nous ferons des décom électro-chimiques nous fera découvrir. Remarquons se dès à présent, que nous n'admettons pas la distinction ments des corps en électro-positifs et électro-négatifs, tel a été en général formulée, distinction qui ne peut se en regard du fait qu'un même corps peut se conduire la combinaison dans laquelle il entre, tantôt comme positif, tantôt comme électro-négatif : par exemple, l qui se rend au pôle + quand il est combiné avec l'h dans l'acide hydrochlorique, et au pôle — quand il est avec l'oxygène dans les acides chloriques. La propriété s'agit ne peut plus être que relative ; et elle consiste e dès que le courant traverse un conducteur liquide co polarise les molécules de ce liquide de façon que, pa éléments, les uns se chargent d'électricité négative et l de positive, le même élément pouvant, suivant celui av il est combiné, se charger également ou de l'une ou d Nous essaierons, quand nous nous occuperons de l'é dégagée dans les actions chimiques, et par conséquent ports plus intimes qui existent entre ces deux genres de montrer que cette propriété peut se concilier facilem

thèse que nous avons faite précédemment, savoir, que les s des corps ont tous une polarité naturelle.

. Lois des décompositions électro-chimiques. — Action définie du courant.

avait cru longtemps que la présence de l'eau était néces- pour qu'un corps liquide pût être décomposé par le courant que. On avait même remarqué comme un fait assez cu- que l'eau, qui, lorsqu'elle est pure, se décompose très- ement, étant elle-même un très-mauvais conducteur de ricité, peut rendre conducteurs, en les dissolvant, des els que les acides sulfurique, sulfureux et d'autres, qui ne isent point ou presque point l'électricité par eux-mêmes. avait cependant déjà observé qu'on peut se servir, comme es conducteurs pour charger des piles, de sels tels que le te de potasse à l'état de fusion, mais il avait toujours con- la présence de l'eau comme nécessaire dans le liquide entre les pôles pour être décomposé. C'est Faraday qui, réussi à transmettre des courants, même d'une faible ité, à travers des chlorures et des sels amenés à l'état de par l'action d'une haute température, a montré en même que ces corps étaient décomposés par ces courants dans éléments, dont les uns se portaient au pôle positif, les au négatif. Ainsi, en plaçant quelques-unes de ces solu- n fusion dans de petits tubes de verre en forme de U, et roduisant dans chaque branche un fil de platine pour nettre le courant à travers la substance, il trouva, avec dures et des chlorures de plomb, d'argent, etc., de l'iode chlore au pôle positif, et du plomb, de l'argent, en un le métal revivifié au pôle négatif. Mais il faut, pour que omposition ait lieu, que les corps liquéfiés par la chaleur ment conducteurs par le fait de ce changement d'état, ne le courant puisse passer. Or, il y a un grand nombre ps, tels que des sulfures, des perchlorures, ainsi que plu- substances organiques, qui ne deviennent pas conduc- en étant liquéfiés, et qui, par conséquent, ne sont pas dé-

composés. L'inverse est également vrai, c'est-à-dire qu
corps composé qui devient conducteur par la liquéfacti
décomposé par le courant, les exceptions à cette règle q
Faraday n'étant qu'apparentes, comme nous le verrons
tôt. Il y a donc une grande différence entre la simple c
tibilité que nous pouvons appeler physique, et la condu
accompagnée de la décomposition électro-chimique. I
mière, qui est propre aux corps solides et aux corps l
élémentaires, tels que le mercure et les métaux fondus
minue par l'effet de l'élévation de la température, a
nous l'avons vu aussi bien pour les liquides que pour
lides ; la seconde, qui appartient aux corps liquides co
augmente au contraire avec le réchauffement qui fa
décomposition. Il en résulte qu'elle semble presque être
séquence de cette décomposition, ou que tout au moins
est intimement liée, de manière à ne former presque a
qu'un seul et même phénomène. Cependant Faraday
ques physiciens croient que les liquides composés peuv
duire une proportion sensible, quelquefois minime, d'él
sans être décomposés, et posséder par conséquent à un
degré la conductibilité physique. Nous examinerons p
quand nous aurons bien étudié les phénomènes qui
pagnent la décomposition, et que nous en aurons déte
lois, jusqu'à quel point cette opinion est fondée.

Nous voyons donc que tout corps composé, condu
l'électricité, peut être décomposé par le passage du
quand il est à l'état liquide, qu'il ait été amené à cet
par la dissolution dans l'eau, soit par la fusion. No
maintenant rechercher les lois plus précises suivant l
s'opère cette décomposition ; et pour rendre notre tra

[1] Inglis et Palmieri avaient cru que l'iode fondu est un conducteu
tricité ; mais Beetz s'est assuré par des expériences très-précises que
traces de conductibilité que présente l'iode à l'état de fusion, tienne
lange avec un peu d'acide hydriodique, qui est décomposé par le c
reste le brôme, le chlore liquide, le soufre, le sélénium et le phosphor
sont pas conducteurs, de sorte que parmi les corps élémentaires il n'
métaux et le charbon qui conduisent l'électricité.

nous adopterons les termes introduits par Faraday dans
artie de la science. Ainsi nous nommerons *électrolyse* la
osition chimique opérée par l'électricité, pour la distin-
l'*analyse*, qui est la décomposition opérée par les moyens
nt chimiques, et dont elle diffère par des caractères très-
cés. Nous appellerons *électrolytes* les corps susceptibles
décomposés par voie électro-chimique. Enfin nous con-
ns le nom d'*électrodes* aux conducteurs qui établissent
munication entre les pôles de la pile et l'électrolyte [1].
remière loi que nous rencontrons, et qui a été établie
aday, est que l'action décomposante d'un courant est
ite pour une même quantité d'électricité. Ainsi, si on a
rs voltamètres placés à la suite les uns des autres de
e à être traversés par le même courant pendant le
temps, on trouve que la quantité des gaz oxygène et
ène dégagée dans chacun est semblable, lors même que
tions conductrices et la grandeur des électrodes diffèrent
ltamètre à l'autre. Ces solutions peuvent être acides, alca-
ı salines; elles peuvent être plus ou moins étendues, et
nt elles donnent la même quantité de gaz quand elles
aversées par le même courant pendant le même temps.
aux électrodes, il faut qu'ils soient en platine et dis-
e façon que les gaz aient le trajet le plus court possible à
ns le liquide qui en dissout toujours plus ou moins, ce qui
de faire croire à des différences dans la quantité de gaz
e. Il faut aussi avoir soin, surtout lorsque les électrodes
e grande surface de contact avec les liquides, de ne pas
le mélange gazeux d'oxygène et d'hydrogène en contact
s électrodes de platine, parce que le platine, par son seul
avec ce mélange, détermine la combinaison des deux
vaut même mieux recueillir les gaz séparément et me-

[1] Faraday appelle *anode* l'électrode positif, et *cathode* le négatif; il dé-
lement par *anions* ceux des éléments de l'électrolyte qui se dégagent
positif, et par *cathions* ceux qui se dégagent au pôle négatif, donnant
ions à ces deux classes d'éléments. Nous ne nous servirons pas de
ces dénominations qui ne semblent pas indispensables, tandis que celles
avons adoptées sont éminemment utiles.

surer l'un d'eux, l'hydrogène, par exemple, qui se d
moins facilement; c'est, en général, ce que faisait Fa
Nous verrons dans le paragraphe quatrième, en nous occu
l'influence exercée par les électrodes sur l'électrolyse, les
que peut faire naître l'inobservation des précautions qu
venons d'indiquer.

Ainsi donc, lorsqu'on recueille tout le gaz qui provie
décomposition de l'eau acidulée ou saline, et qu'aucun
condaire, comme cela arrive avec certaines dissolution
dissimule une partie, on a dans le volume de ce gaz
sure exacte de la quantité d'électricité qui passe; c'es
quoi Faraday a appelé voltamètre l'appareil fondé sur
cipe. Cela est si vrai, que si on réduit de moitié cette éle
en plaçant parallèlement l'un à l'autre deux voltamètr
faitement semblables, le courant se partage également en
et dégage dans chacun d'eux une quantité de gaz qui e
tement la moitié de celle qui est dégagée dans un troisiè
tamètre placé dans le circuit de façon à être traversé en
par le courant. S'il existe quelque différence de condu
entre les deux voltamètres parallèles, parce que l'un
des électrodes plus grands ou renferme une dissolutio
acide, les quantités de gaz dégagées dans chacun ne so
les mêmes, mais leur somme est toujours égale à la qua
gaz dégagée dans le voltamètre unique. C'est ce que M
a très-bien démontré.

Mais ce n'est pas seulement sur des dissolutions aque
l'eau seule est décomposée que la puissance chimique d'
rant électrique est toujours proportionnelle à la quan
solue d'électricité transmise : cette même propriété exis
tous les électrolytes; d'où il résulte nécessairement qu
qu'un même courant traverse pendant le même temp
ou plusieurs corps composés, soit électrolytes, il doit néc
ment séparer dans chacun d'eux leurs éléments en quant
portionnelle à leurs équivalents chimiques[1]. Cette belle l
établie par Faraday par un grand nombre d'expérience

[1] Nous entendons par équivalents chimiques les poids relatifs des élé
entrent dans la composition d'un corps. Ainsi l'équivalent de l'hydr

disposé à la suite l'un de l'autre, dans le même circuit, un mètre et un tube rempli de protochlorure d'étain placé un tube de verre où pénétraient deux fils de platine et à l'état de fusion par une lampe d'alcool. L'un des fils latine plongés dans le protochlorure communiquait avec le négatif de la pile, l'autre avec un des électrodes du voltre dont le second électrode aboutissait au pôle positif. s avoir fait durer quelque temps la décomposition, on rrompit, puis on pesa avec soin le fil de platine recouvert in dont on avait déterminé le poids auparavant; cette donna 3 gr. ; pour le poids de l'étain provenant de composition; le poids de l'eau décomposée, conclu du me gazeux mesuré avec soin dans le voltamètre, se trouva gr., 49 environ, ce qui donne 735 pour l'équivalent tain, celui de l'eau étant de 112, nombre qui est bien ritable. Le protochlorure d'étain qui reste après l'opération rfaitement pur, en sorte qu'il est évident qu'il a été dé- au pôle positif une quantité de chlore équivalente à celle tain métallique porté à l'électrode négatif. Seulement les ns secondaires, telles que celle du chlore sur le métal , lorsque les deux électrodes sont très-rapprochés, ren- quelquefois trop faible le poids du métal réduit. Avec dures qui sont également décomposés à l'état de fusion, le inconvénient se présente à cause de la formation de dures à l'électrode positif. En général, il faut beaucoup précautions et un choix particulier d'électrolytes, pour que se manifeste d'une manière bien nette sans être troublée s effets secondaires.

r la faire bien ressortir, Faraday essaya de placer plu- électrolytes différents à la suite les uns des autres sur la du courant, par exemple, l'eau acidulée dans le volta-

celui de l'oxygène étant 100, d'où résulte que l'équivalent de l'eau est ce qui signifie que 100 grammes d'oxygène se combinent avec 12,50 d'hy- pour faire 112,50 d'eau. L'équivalent de l'étain est 735,29, et celui du 42,65, d'où résulte que 735,29 d'étain se combinent avec 442,65 de pour former 1177,94 de chlorure d'étain. De même 100 oxygène se avec 735,29 d'étain pour faire 835,29 d'oxyde d'étain et 442,65 font avec 12,50 d'hydrogène 455,15 d'acide chloridrique, etc.

mètre, le protochlorure d'étain et le chlorure de pl
obtint des quantités d'étain, de plomb, de chlore, (
et d'hydrogène équivalentes les unes aux autres. Il e
que, dans ce cas, c'est l'électrolyte le moins condu
détermine l'effet total, effet qui est le même dans tou

Ainsi nous pouvons regarder comme complétem
tré que l'action chimique de l'électricité est *définie*,
même quantité d'électricité, soit le même courant élec
compose des quantités chimiquement équivalentes d
corps qu'il traverse, d'où résulte que *les poids de*
qu'il sépare dans ces électrolytes sont tous entre eux
équivalents chimiques de ces éléments.

La loi que nous venons d'établir doit être gén
quand il s'agit de la constater pour le cas de corps
autres que les binaires, et pour celui où ces composé
mêmes dissous dans un électrolyte tel que l'eau, on
des difficultés très-grandes dont l'une des princip
formation de produits secondaires qu'on a souvent (
à distinguer des produits directs de la décomposit
lorsqu'on veut décomposer une solution d'ammoni
laquelle on a eu soin de dissoudre du sulfate d'am
pour la rendre meilleure conductrice, on obtient
très-pur à l'électrode positif et de l'hydrogène au n
la proportion de 3 ou 4 volumes d'hydrogène pour 1
semble résulter de là que l'ammoniaque seul a été d
et cependant si l'on met un voltamètre dans le mê
on trouve que l'hydrogène y est dégagé exactemen
quantité que dans la dissolution ammoniacale, ce q
prouver que dans celle-ci l'eau seule a été décomp
l'azote qui se montre à l'électrode positif, n'est que
secondaire de l'action sur l'ammoniaque de l'oxygè
provenant de la décomposition de l'eau ; d'autant pl
azote est souvent mélangé avec un peu d'oxygène
proportion varie avec le degré plus ou moins gra
centration de la dissolution [1]. Ainsi encore si on déc

[1] Nous serions plutôt disposés à admettre que c'est le sulfate hyd

nitrique, qui est très-bon conducteur, on obtient de ène à l'électrode positif, et il n'y a point de gaz au né- mais on y trouve de l'acide nitreux et du deutoxyde qui rendent, en se dissolvant, l'acide jaune ou rouge : t est-il le résultat de la décomposition directe de l'acide e en oxygène et en acide nitreux ou deutoxyde d'azote, de la décomposition de l'eau renfermée dans l'acide 'oxygène paraît à l'électrode positif, pendant que l'hy- désoxyde en partie l'acide à l'électrode négatif? Ce blerait favorable à la seconde hypothèse, c'est que si sout l'acide nitrique dans une fois son volume d'eau antage, on obtient sur l'électrode négatif un dégage- azeux dont la quantité varie suivant les différences dans de l'acide ou dans la force du courant, et en mettant ètre dans le même circuit, on trouve que l'oxygène ge également dans les deux solutions, ce qui semble que dans l'acide comme dans le voltamètre, l'eau seule composée. Cependant ces conclusions de Faraday ne sont me nous le verrons, complétement exactes; suivant physicien, l'acide sulfurique n'est pas directement lysable, mais il se dépose dans certains cas du soufre trode négatif par la réaction de l'hydrogène provenant décomposition de l'eau. L'acide hydrochlorique éprouve tre une décomposition directe et définie, ainsi que les ydriodique, hydrobromique et hydrocyanique ; c'est ce ulte de la comparaison de l'hydrogène dégagé par lyse avec l'hydrogène dégagé dans un voltamètre mis même circuit.

ce qu'il importe surtout d'étudier, c'est ce qui se passe décomposition d'une dissolution saline. Nous avons vu les sels à bases alcalines ou terreuses on obtient à la l'oxygène et de l'acide au pôle positif, de l'hydrogène et li au pôle négatif, d'où il semble résulter que l'eau et

est décomposé, que tandis que l'hydrogène de l'ammoniaque et celui de dégagent à l'électrode négatif, l'acide sulfurique, l'azote de l'ammoniaque libre de l'eau, vont à l'électrode positif, et que là peut-être l'oxygène nais- décompose une partie de l'ammoniaque libre de la dissolution.

le sel sont tous deux décomposés à la fois. M. Daniell, de nombreuses expériences sur ce sujet, s'est d'abo que la décomposition d'un équivalent d'eau est accomp celle d'un équivalent exact de la dissolution saline. river à ce résultat, il avait partagé un voltamètre, a d'une cloison poreuse, en deux compartiments éga l'un renfermait l'électrode positif et l'autre l'électrod et qui tous deux étaient remplis d'une dissolution d de soude qui recouvrait les électrodes. Les gaz hyd oxygène provenant de l'électrolysation étaient recuei rément et mesurés avec soin ; puis après avoir fait du rience assez longtemps, on déterminait exactement la d'acide libre qui se trouvait dans le compartiment celle d'alcali qui était dans le négatif, et on trouvait a y avait un équivalent de chacun en même temps qu'il y équivalent d'eau décomposée. On s'était assuré préal que la cloison poreuse, tout en laissant passer le co permettait pas aux liquides de se mélanger. La mê rience fut répétée en mettant dans le circuit un v ordinaire chargé avec une solution d'acide sulfuriqu électrodes étaient de même dimension que ceux du v à deux cloisons rempli de sulfate de soude. Or, les de gaz dégagées dans les deux voltamètres furent sem égales, et on trouva en outre dans celui où était le soude la même quantité d'acide et d'alcali libres. Ai admet que le courant décompose à la fois l'eau et le soude, on arrive à la conclusion extraordinaire que courant, qui sépare seulement un équivalent d'oxyg équivalent d'hydrogène dans l'un des voltamètres, pe en même temps dans l'autre un équivalent d'oxyg équivalent d'hydrogène et un équivalent d'acide s d'un équivalent de soude. Ce qu'il y a de curieux, la température du liquide s'élève considérablement da où est la dissolution de sulfate de soude, et très-peu où est la dissolution acide. Les résultats furent les substituant du nitrate de potasse au sulfate de soude plaçant dans les expériences précédentes le sulfate

a cellule à double compartiment par l'acide sulfurique
i d'eau, Daniell constata un transport très-prononcé d'a-
l'électrode positif, et il trouva qu'il passait environ le
d'un équivalent d'acide pour un équivalent entier d'eau
posée. Faraday avait obtenu déjà un résultat à peu près
ble, seulement un peu plus fort.
lait donc à savoir comment le courant agissait dans la
décomposition d'un équivalent d'eau et de sel. Pour
Daniell imagina de placer dans le même circuit où se
it le voltamètre à double cellule chargé d'une dissolu-
turée de sulfate de soude, du chlorure de plomb tenu en
dans un tube au moyen d'une lampe à alcool; un fil de
servait d'électrode négatif au chlorure et un petit bâton
mbagine d'électrode positif. Or, le fil de platine, qui
vant l'expérience 5 gr. 44, acquit un poids de 27 gr. 1,
fait pour le plomb seul, qui formait un bouton bien
hérent au fil, un poids de 21 gr. 66. Dans le voltamètre,
ait eu décomposition à la fois d'une quantité d'eau et
uantité de sulfate de soude équivalente, chacune sépa-
, au poids du chlorure de plomb décomposé. Cette expé-
nous montre donc clairement qu'on ne peut admettre
ait à la fois électrolysation directe d'un équivalent d'eau
équivalent de sel par la même force qui électrolyse un
lent de chlorure de plomb. A l'appui de cette conclu-
ous noterons encore le fait suivant, c'est que si l'on prend
me d'étain pour électrode positif dans le voltamètre à dou-
ule, qu'on charge ce voltamètre d'une dissolution de chlo-
e sodium, et qu'on le mette dans le circuit toujours avec
rure de plomb, on trouve que la perte en poids de l'étain
t attaqué par le chlore et le volume de l'hydrogène dé-
l'électrode négatif de platine où se porte aussi la soude,
ntent la décomposition d'une quantité de chlorure de
n exactement équivalente à la quantité du chlorure de
décomposée. La seule manière de se rendre compte de
ultat est d'admettre que le chlorure de sodium dissous
ul décomposé, que le chlore est absorbé par l'étain, et
e sodium porté à l'électrode négatif réagit sur l'eau,

s'oxyde en dégageant son équivalent d'hydrogène, q
plus qu'un produit secondaire dû à un effet purem
mique, et non à l'électrolysation directe de l'eau.

Nous sommes ainsi conduits à considérer comme
cipe fondamental que la force électrique que nous
par son action définie en un point quelconque du ci
peut pas décomposer plus d'une proportion équivale
un autre point du même circuit, de sorte que le cou
nous avons mesuré par son électrolysation sur le chl
plomb ne peut pas être en même temps suffisant pour
lyser un équivalent de chlorure de sodium et un éq
d'eau dans le même voltamètre entre les mêmes élect
résulte de cette man ère de voir que, dans la décompo
sulfate de soude dissous, il faut admettre que le sulfate
lement est décomposé, et non l'eau ; que l'oxygène d
de sodium se rend avec l'acide sulfurique à l'électrod
où il se dégage, pendant que le sodium est porté à l'é
négatif où il décompose l'eau, et devient de la soude
geant son équivalent d'hydrogène, qui n'est plus ég
qu'un produit secondaire. Avec les sels dont la base mé
telle que le plomb ou le cuivre, est incapable de déc
l'eau aux températures ordinaires, le métal pur se tr
posé à l'électrode négatif : ce dépot est un effet dire
décomposition, et il n'est point dû, comme on l'a lo
prétendu, à la réduction de l'oxyde par l'hydrogène p
de l'électrolysation de l'eau qui aurait lieu en même te
celle du sel. Des expériences directes faites en rempl
dissolution de sulfate de soude par celle de sulfate d
dans le circuit où est le chlorure de plomb fondu, co
cette explication qui est complétement d'accord avec l
de Davy et de Dulong sur la composition des sels, qu'i
dent comme des composés binaires analogues aux cl
Ainsi, de même qu'un chlorure de sodium est un comp
équivalent de chlore et d'un équivalent de sodium,
fate de soude est un composé d'un équivalent d'*oxy-*
d'un équivalent de sodium, un équivalent d'oxy-sulf
formé d'un équivalent d'oxygène et d'un équivalent

que. Nous voyons donc que, d'après les expériences de , les idées de Faraday sur les actions secondaires dues à mposition directe de l'eau dans les dissolutions, doivent odifiées, comme nous l'avons fait pressentir.

s venons d'établir avec Faraday la loi de l'action définie rant, et avec Daniell celle de la décomposition immédiate s dissous dans l'eau. Maintenant, avant de voir si la loi day s'étend à toutes les classes de composés, et si, en par-, elle s'applique à ceux dans la composition desquels il lus d'un équivalent de l'un des éléments constituants, ns-nous de savoir comment s'opère la décomposition leux ou plusieurs électrolytes sont mélangés.

atteucci, le premier après Faraday, avait, par de nom-travaux, suivi cet ordre de recherches. Après avoir ré que la loi de l'action définie du courant régit aussi action chimique qui a lieu dans l'intérieur de la pile s couples, que celle qui a lieu entre les pôles, point im-pour la théorie de la pile, il avait constaté que l'élec-des combinaisons des oxydes avec des acides donne le quivalent de métal que celle des oxydes mêmes, aussi and ces combinaisons sont dissoutes dans l'eau que elles sont liquéfiées par la chaleur; ce qui est d'accord résultats obtenus plus tard par Daniell.

Et, partant de la loi trouvée par Faraday que les oxydes, rures, les iodures, et en général les combinaisons bi-sont décomposées dans leurs équivalents, M. Matteucci ulu déterminer ce qui arriverait quand ces combinai-aient du second ordre, c'est-à-dire des sels. En consé-il avait soumis successivement à l'action du courant ate de plomb, soit fondu, soit dissous, en ayant soin r en même temps dans le circuit un voltamètre à eau aci-our 6cc. du mélange gazeux qui correspond à 3 mg., 2214 décomposée, il avait obtenu 37 mg. de plomb à l'élec-gatif, aussi bien dans l'acétade fondu que dans le dis-qui correspond à 1287 pour l'équivalent du plomb, très-rapproché de celui qui est adopté par les chimistes. uit la même expérience sur le nitrate d'argent, et il avait

trouvé, pour 6 cc. de mélange gazeux dans le voltamètre, 30
d'argent, ce qui correspond à 1356 pour l'équivalent d'ar
le nitrate fondu et le nitrate dissous donnèrent le même rés
Le borate neutre de plomb fondu avait donné pour 6 cc. du
lange, 37 mg. de plomb à l'électrode négatif comme l'ac

Le métal réduit n'est donc point l'effet d'une action se
daire provenant de la décomposition de l'eau; il est évi
que les sels sont décomposés directement aussi bien qua
sont amenés à l'état liquide par leur dissolution dans l'eau
quand ils y sont amenés par l'effet de la chaleur. La diffé
donc qui existe entre un oxyde et un sel, c'est que, tandi
pour tous les deux également il y a un équivalent de métal t
porté à l'électrode négatif, il y a pour le sel un équiv
d'acide transporté à l'électrode positif avec un équivalent d
gène. M. Matteucci s'en est assuré d'une manière ca
en prenant pour électrolytes des benzoates neutres d
tasse, de chaux, de zinc, de plomb et d'argent, qui sont
plus ou moins solubles dans l'eau, tandis que l'acide benz
lui-même est insoluble. Cet acide pouvait donc facilement
recueilli à l'électrode positif sur du papier joseph, puis
venablement lavé et desséché. On le pesait, et on obtenait
son poids un nombre à peu près égal à son équivalent, ce
il était facile de s'assurer en recueillant et mesurant les
produits de la décomposition, c'est-à-dire l'oxygène
base du sel; seulement une petite quantité d'acide benz
disparaissait par l'effet de l'eau qui en dissout un peu; au
nombre obtenu était légèrement inférieur à l'équivalent.

M. Matteucci a également étendu la loi de Faraday au c
mélange de deux électrolytes, en montrant que s'ils sont
composés tous les deux, la somme des quantités de ch
d'eux qui sont décomposées est équivalente à la quantité q
obtient en en décomposant un seul par un courant de m
force et de même durée, ce qui prouve que, dans ce cas en
l'action chimique du courant est définie. Quant à la propo
de chacun des électrolytes qui est décomposée, elle dépe
leur nature et de la proportion même dans laquelle ils ex
dans le mélange. Ainsi, avec des solutions peu étendues

es hydrochlorique, hydriodique, de chlorures et d'iodures, composés seuls étaient décomposés, tandis que l'eau l'était ssi si on augmentait sa proportion dans la dissolution et la ce du courant.

M. Becquerel père, qui s'était aussi occupé de la décompoion des mélanges, avait cru y trouver un moyen de merer les affinités. Ayant mêlé ensemble du nitrate d'argent et ı nitrate de cuivre dans une proportion telle qu'il y eût le ême nombre d'équivalents de chacun, il avait observé que nitrate d'argent seul était décomposé; de même, dans un élange semblable de nitrate de plomb et de nitrate de cuivre, nitrate de cuivre seul était décomposé. Mais si l'on augmenit dans le mélange la proportion de celui des deux nitrates ui n'était pas décomposé, il arrivait un moment où il l'était ssi. Ainsi, en opérant sur une dissolution qui renferme un uivalent de nitrate d'argent égal à 1 décigramme, il faut jouter 67 équivalents de nitrate de cuivre pour qu'il y ait à électrode négatif un précipité métallique composé d'un équiilent de chacun des deux métaux. M. Becquerel en tire la onclusion qu'alors le courant se partage en deux parties paritement égales entre les deux nitrates, puisqu'il produit sur hacun d'eux le même effet chimique et qu'il y surmonte des résistances égales qui sont les affinités existantes entre les parties constituantes des deux sels. C'est en augmentant la masse, c'est-à-dire le nombre des particules exposées à l'action du courant de celui des nitrates qui est le moins décomposable, qu'on arrive à cette égalité d'effets électrolytiques, d'où M. Becquerel conclut qu'on doit trouver dans le rapport des masses nécessaires, pour qu'il y ait un équivalent de chacun décomposé, la mesure des forces qui unissent l'oxygène et l'acide nitrique à un équivalent d'argent et de cuivre. Nous ne saurions nous ranger à cette conclusion, parce que, sans nier que l'affinité puisse jouer un rôle dans le résultat obtenu, il est incontestable que la conductibilité relative des deux nitrates mélangés y a une part bien plus grande, et que ces deux propriétés semblent être indépendantes l'une de l'autre.

Cette influence de la conductibilité dans les phénomènes ob-

servés par M. Becquerel se trouve confirmée par les recherches que M. Matteucci a également faites, mais en suivant une autre méthode, pour trouver le rapport qui peut exister entre l'électrolysation de certaines combinaisons et l'affinité chimique des éléments dont elles sont formées. Nous avons déjà vu[1] qu'il était arrivé à montrer que tous les composés qui, fondus et anhydres, conduisent mieux le courant que l'eau, sont toujours plus conducteurs que leurs solutions aqueuses, même les plus concentrées, et que, pour que deux solutions aqueuses de deux composés aient la même conductibilité, il faut que celle dont le composé est le moins conducteur à l'état de fusion soit la plus concentrée. Or, en opérant de la même manière, il a trouvé que ce qui est vrai pour la conductibilité est vrai aussi pour l'électrolysation. Ainsi, si l'on place deux voltamètres parallèles dans le même circuit qu'un voltamètre ordinaire à eau acidulée, on trouve, par exemple, qu'un équivalent de nitrate d'argent d'une part et 4 équivalents de nitrate de plomb d'autre part ajoutés à 100 gr. d'eau donnent deux solutions également électrolysables; on a pour 12 cc. de mélange gazeux dans le voltamètre principal, 40 mg. de plomb et 38 mg. d'argent dans chacun des deux autres. Il faut de même 2½ équivalents de nitrate de cuivre et 1 de nitrate d'argent pour avoir deux liquides également électrolysables. Dans tous les cas, il va sans dire que la somme des équivalents des deux métaux est égale à l'équivalent d'hydrogène dégagé dans le voltamètre principal mis toujours dans le circuit. On voit que les proportions trouvées par M. Matteucci sont bien différentes de celles de M. Becquerel, ce qui prouve que l'action mutuelle des deux sels mélangés exerce une influence sur le résultat. Le dissolvant en a aussi, quoique le corps dissous soit seul décomposé; deux solutions de nitrate d'argent de même densité, l'une dans l'alcool, l'autre dans l'eau, renfermant par conséquent, la première, beaucoup plus de nitrate que la seconde, en étant placées chacune dans un des voltamètres partiels, donnent, la première, 57 mg. d'argent, la seconde 56, nombres presque

[1] Tome II, pages 61 et suivantes.

t, et dont la somme correspond aux 18 cc. du mélange
ix provenant de la décomposition de l'eau dans le volta-
principal. Les deux solutions sont donc également élec-
ables, et cependant elles contiennent dans le même vo-
des quantités de nitrate d'argent très-différentes, ce qui
n'elles ont la même densité.
ir comparer l'électrolysation des différents composés,
itteucci procède toujours de la même manière, savoir, en
it dans le circuit un voltamètre principal rempli d'eau
ée avec l'acide sulfurique au maximum de conductibi-
,232 de densité); puis, à la suite parallèlement l'un à
, de manière que le courant puisse se partager entre eux,
nnd voltamètre semblable au premier, et la substance
te ou fondue soumise à l'expérience. Quand cette sub-
est du protoxyde ou de l'iodure de plomb, du chlorure
nitrate d'argent, elle transmet tout le courant, et il n'en
point par le voltamètre secondaire : avec le chlorure ou
ite de plomb, il y a une décomposition dans le voltamètre
laire, plus forte avec l'acétate qu'avec le chlorure, ce qui
erait qu'il est moins électrolysable. En remplaçant le
ètre secondaire par l'acétate de plomb fondu, on trouve,
'oxyde de plomb mis parallèlement, pour 12 cc. du mé-
gazeux dans le voltamètre principal, 9 à 10 mg. dans l'a-
et 60 dans l'oxyde; avec le nitrate d'argent, 4 mg. de
dans l'acétate et 70 dans le nitrate. Ainsi l'oxyde de
libre est plus électrolysable que ce même oxyde combiné
'acide, et le nitrate d'argent l'est encore plus. En compa-
accessivement les chlorures de plomb et d'argent à l'acé-
n trouve 10 mg. de plomb dans l'acétate, et par conséquent
viron dans le chlorure, tandis qu'avec le chlorure d'argent
te n'est point décomposé. L'iodure de plomb donne à peu
même résultat que le chlorure et l'oxyde, ce qui prouve
rtains composés sont également électrolysables. Par
, si on place parallèlement avec l'acétate de plomb du
hlorure d'étain, on a toujours pour 12 cc. du mélange
dans le voltamètre principal, 64 mg. de plomb dans
te, et à peine 3 mg. d'étain dans le protochlorure.

M. Matteucci conclut de tous ces faits que les co
laissent d'autant plus facilement décomposer, que
chimique qui réunit leurs éléments est moins forte,
contraire à l'opinion de Faraday, qui estime au cont
les composés les plus électrolysables sont ceux don
ments ont le plus d'affinité. Quant à nous, nous ne
voir dans ces divers phénomènes qu'un résultat de
tance plus ou moins grande que les divers liquides p
à la transmission du courant, et par conséquent à leu
lysation ; propriétés dont on ignore la liaison, si
qu'elle existe ; c'est même un point sur lequel les co
diffèrent du tout au tout, puisque nous voyons Faraday
teucci avoir à cet égard des opinions diamétralement
Toutefois il semblerait que les combinaisons, telles
pure, dont les éléments ont le plus d'affinité les uns
autres, seraient bien ceux qui ont le moins de pouvoi
teur, et qui sont par conséquent le moins électrolysa

Une autre question qui se présente ici est de savoir s
posés formés de la combinaison d'un équivalent avec de
sieurs équivalents sont décomposables comme ceux qui
de la combinaison d'un équivalent avec un seul équiv
dans le cas où ils seraient décomposables, quelle est
régit leur électrolysation. Deux physiciens, MM. Ma
E. Becquerel, ont également étudié ce point importan

M. Faraday avait cru que les seuls composés décom
par le courant étaient ceux qui sont formés de la com
d'un équivalent d'un élément avec un seul équiva
autre, non pas qu'ils le soient tous nécessairement,
en est plusieurs, tels que le chlorure de soufre, le p
rure de phosphore, celui de carbone, qui ne le sont pa
pas conducteurs; mais Faraday entendait que ceux
ment auraient été susceptibles d'être électrolysés, tu
les composés formés d'un équivalent avec deux ou
équivalents ne seraient ni conducteurs ni électrolysab
seulement seraient conducteurs exceptionnellement,
dure et le perchlorure de mercure; mais, tout en co
le courant, ils ne seraient pas décomposés par lui.

ı, examinant de plus près ce point, est parvenu cepen-
ı décomposer les combinaisons dans lesquelles il entre
le deux équivalents. Les corps sur lesquels ont porté ses
ences ont été le protochlorure d'antimoine et les deux chlo-
de cuivre. Le premier a pu être placé à l'état de fusion
le circuit avec un voltamètre, et l'expérience a donné un
ement de chlore à l'électrode positif, et de 8 mg. d'anti-
au négatif pour un dégagement gazeux de 6 cc. dans le
ètre qui correspond à 3 mg. 22 d'eau décomposée [1]. Or,
mg. d'antimoine ne représentent que le $\frac{1}{3}$ du nombre
l'équivalent de ce métal pour un équivalent d'eau dé-
sée. Quant aux deux chlorures de cuivre, comme ils atta-
ıt les électrodes d'or et de platine, il a fallu les dissoudre
eau; on en a fait des dissolutions très-concentrées, et on
onstater, en comparant leur électrolyse avec celle de l'eau
ltamètre, qu'ils étaient bien décomposés directement,
nt mieux qu'on n'avait que du chlore, et point d'oxy-
ı l'électrode positif. On a obtenu à l'électrode négatif un
ılent de cuivre avec le protochlorure, mais seulement un
équivalent avec le bi-chlorure.

E. Becquerel, en opérant sur les chlorures dissouts, aussi
celui d'antimoine que celui de cuivre, a obtenu pour les
rs le même résultat que M. Matteucci; mais, pour le
er, il a trouvé qu'il se dépose à l'électrode négatif les $\frac{2}{3}$ de
valent d'antimoine. Il attribue la grande différence qu'il y
e son résultat et celui de M. Matteucci à ce que, dans les
iences de ce dernier physicien, le chlore attaque et redis-
me partie de l'antimoine. Pour être à l'abri de cet incon-
nt, M. E. Becquerel a disposé son appareil de manière à
e les deux électrodes dans deux vases différents remplis
même solution, en faisant communiquer les deux liquides
le d'un petit syphon qu'on amorce quand les vases sont rem-

[1] Dans une expérience subséquente, M. Matteucci avait trouvé pour 9cc 45
mage gazeux dans le voltamètre, 13mg 5 d'antimoine. Il est aussi parvenu
fois à un nombre plus considérable, et reconnait qu'on a besoin de nou-
expériences pour bien établir la loi de la décomposition de ce corps très-
à électrolyser directement.

plis. Dans la figure ci-jointe (237), les deux verres sont sur le plateau d'une machine pneumatique et recouverts cloche munie d'un robinet et percée de deux ouvertur

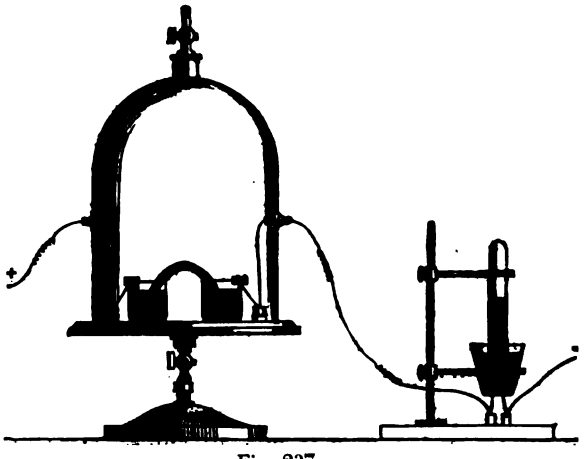


Fig. 237.

permettent d'introduire par chacune un fil métallique cloche, afin de mettre dans le circuit, au moyen de deu godets remplis de mercure, les lames décomposantes. trode négatif est de platine, et le positif peut être de di métaux. L'appareil communique avec un voltamètre p dehors de la cloche, car celle-ci sert à faire le vide po téger les liquides électrolytiques altérables à l'air et p placer dans un autre milieu gazeux. Dans le cas où l'o sur des chlorures fondus, et non dissous, on ne peut en cet appareil, car il faut maintenir les deux électrodes au de la masse et opérer rapidement. Voici deux expérienc de cette manière par M. E. Becquerel :

GAZ DÉGAGÉ dans le voltamètre à 0° et 0m,76.	POIDS de l'eau décomposée.	ANTIMOINE à l'électrode négat
	Mill.	gr.
49.00	21.48	0.106
91.14	48.94	0.232

équivalent de l'antimoine est 806,45, celui de l'eau étant
5; pour qu'il se déposât un équivalent d'antimoine, il
ait qu'il y eût au pôle négatif, dans la première expé-
:, $21,48 \times \frac{806,45}{112,5} = 153^{\text{mill.}}, 80$, et dans la deuxième
ience, $48,94 \times \frac{806,45}{112,5} = 350^{\text{mill.}}, 4$. Si l'on prend les $\frac{2}{3}$
: deux nombres, on trouve $0^{\text{gr.}}, 102$ et $0^{\text{gr.}}, 233$, nombres
s par l'expérience.

expériences qui précèdent, ainsi que celles faites sur quel-
autres chlorures, soit simples, soit composés, tels que le bi-
are d'étain et le perchlorure de fer, ont conduit M. E. Bec-
l à admettre que, pour un équivalent d'eau décomposée,
qui revient au même, pour un équivalent d'électricité
pyée, c'est toujours un équivalent de chlore qui est dégagé
ectrode positif, et par cons une quantité correspon-
de la base à l'électrode né tif. C'est pourquoi, avec les
ures d'argent, d'étain, de fe , on a un équivalent du métal
un équivalent de chlore, de même avec le bichlorure de
e, tous ces chlorures renfermant 1 équivalent de chlore et
nivalent de métal; mais avec le protochlorure de cuivre,
ontient 2 équivalents de cuivre pour 1 de chlore, on a
nivalents à l'électrode négatif pour 1 de chlore au positif;
le perchlorure de fer et le perchlorure d'antimoine, qui
rment chacun 2 équivalents de métal pour 3 de chlore,
qui revient au même, $\frac{2}{3}$ d'équivalent du métal pour 1 de
re, on n'a à l'électrode négatif que les $\frac{2}{3}$ de l'équivalent
métal pour un équivalent de chlore au positif.

. E. Becquerel croit pouvoir étendre la loi qu'il a trouvée
r les chlorures aux iodures et aux bromures, ainsi qu'aux
les et aux sels, de sorte que c'est toujours un équivalent de
ment acide (composé, dans le cas des sels, d'un équivalent
ygène et d'un équivalent d'acide) qui se rend à l'électrode
if et une quantité correspondante de base au négatif. C'est
érant sur les sels de plomb, tels que les nitrates, les ni-
et les hyponitrites, qu'il a constaté l'existence de la loi
les sels; il l'a aussi vérifiée avec deux sels de cuivre sou-

mis à l'action du même courant, et dont l'un, l'hypo
protoxyde de cuivre, a donné 53 mill. de cuivre à l'é
négatif, tandis que du nitrate de bioxyde de cuivre, mis
même circuit, n'a donné que 26 mill., c'est-à-dire moitié
il a obtenu le même résultat avec le protoxyde et le bio
cuivre dissous dans l'ammoniaque.

Nous devons reconnaître que, malgré les travaux de M
teucci et E. Becquerel, il y a encore bien à faire pour d
le mode exact d'action de l'électricité sur les composé
formation desquels entre plus de deux équivalents;
reusement, le nombre de ces composés, qui sont condu
susceptibles d'être électrolysés, est fort peu considéra
en a même, parmi ceux dont M. E. Becquerel a fait us
tels que le bichlorure d'étain, ne conduisent pas le
lors même qu'ils sont fondus; et si à l'état de dissolutio
viennent conducteurs, ce ne peut être que parce q
éprouvé quelque altération en se combinant avec l'
n'est donc pas bien certain que ces chlorures soient
posés directement, et qu'il ne se passe pas quelqu'u
actions secondaires si difficiles à discerner et qui tro
simplicité des résultats. M. E. Becquerel en signale l
des exemples dans la décomposition des nombreux ac
plomb, qui est presque toujours le résultat d'un effet se

Nous terminerons ce paragraphe en revenant sur
sur lequel tous les physiciens qui se sont occupés de
lyse, aussi bien MM. Matteucci et E. Becquerel que M
sont d'accord, savoir : la manière d'envisager la décompo
sels et celle de l'eau acidulée. Quant à celle des sels, n
déjà montré que c'est le métal, et non pas l'oxyde, sauf d
ques cas exceptionnels que nous examinerons dans le pa
suivant, qui est transporté à l'électrode négatif. On expli
pourquoi quand on décompose des sels dont les oxyde
pas solubles, tels que ceux de magnésie et de zinc, en pla
dissolutions à l'électrode positif et en les faisant comm
par un conducteur humide avec de l'eau distillée où pl
lectrode négatif, on trouve que la magnésie et l'oxyd
s'arrêtent à leur entrée dans l'eau distillée, où ils resten

au lieu d'aller jusqu'à l'électrode négatif. Il est clair
magnésium et le zinc, qui, dans leurs dissolutions sa-
étaient transportés du pôle + au pôle —, en échan-
, conformément à la théorie de Grotthus, de molécule à
ule leur oxygène et leur acide, de manière à toujours
r un sel soluble, ne trouvent plus, en arrivant dans l'eau,
l'oxygène sans acide ; ce n'est donc plus un sel, mais
yde qu'ils forment, et comme cet oxyde n'est pas soluble,
a pas plus loin : c'est alors l'hydrogène de la première
ule d'eau qu'a rencontrée le magnésium ou le zinc qui
à leur place par voie d'échange de molécule à molécule
à l'électrode négatif. Supposons, par exemple (fig. 238),

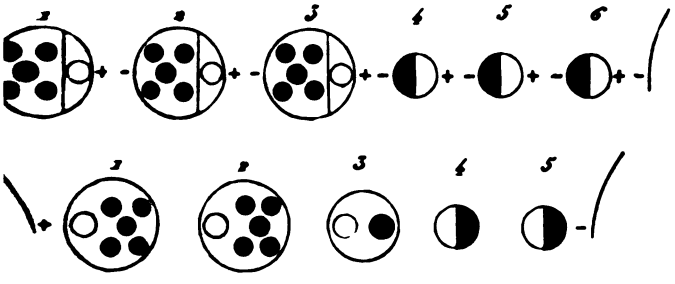


Fig. 238.

molécules consécutives, dont les nos 1, 2 et 3 (sulfate de
ésie) sont composés de 4 équivalents d'*oxygène*, 1 équiva-
le *soufre* et 1 équivalent de *magnésium* [1], et les nos 4, 5 et 6
) sont composés de l'équivalent oxygène et de l'équiva-
hydrogène : le courant passe, les polarise et les décom-
. Les 4 équivalents d'oxygène et l'équivalent de soufre de
lécule n° 1 se dégagent sous forme d'acide sulfurique et
gène à l'électrode positif, et l'équivalent de l'hydrogène
molécule n° 6 à l'électrode négatif. Le magnésium du
se combine avec l'*oxy-sulfion* du n° 2, le magnésium du

s cercles et demi-cercles blancs représentent le magnésium et l'hydrogène,
l'oxygène, et les noirs le soufre.

n° 2 avec l'oxy-sulfion du n° 3, le magnésium du n° 3 avec l
gène du n° 4, l'hydrogène du n° 4 avec l'oxygène du n
l'hydrogène du n° 5 avec l'oxygène du n° 6. Il n'y a des
que cinq molécules, dont la troisième, l'oxyde de magn
reste en suspension dans le liquide. La série inférieure d
lécules de la fig. 238 représente ces molécules au mom
l'échange de leurs parties constituantes, et avant qu'elle
été de nouveau polarisées par le courant comme elles l
dans la série supérieure. Si l'oxyde est soluble comm
de sodium ou de potassium, le phénomène a lieu de la
manière; seulement la potasse et la soude se dissolvent à
qu'elles arrivent dans l'eau, mais il est bien facile de co
que c'est aux points de contact entre la dissolution sa
l'eau, et non à l'électrode qu'elles se déposent premièr

M. E. Becquerel a expliqué d'une façon très-ingé
par la même théorie, la manière dont s'opère la décomp
de l'eau oxygénée, expérience fort intéressante qu'il a f
mettant l'eau oxygénée dans un petit verre, et en prenan
électrode positif un fil de platine qui passe dans un tu
verre fermé à la lampe, de sorte que le bout très-fin du
seul employé à décomposer le liquide; on met alors au-
de ce fil une petite cloche graduée, et on recueille seul
l'oxygène. Un voltamètre à eau ordinaire est en même
placé dans le circuit. Voici le résultat comparatif de
expériences :

	EAU OXYGÉNÉE. Gaz degagé.	EAU ORDINAIRE Gaz dégagé.
1re expérience :	18,5 oxygène.	9,3 oxygène 18,6 hydrog
2e expérience :	26 oxygène.	13,2 oxygène 26,3 hydrog

On voit qu'il se dégage dans l'eau oxygénée le doubl
d'oxygène à l'électrode positif que dans l'eau ordinai
premier abord, ce résultat semble en opposition avec la l
blie par M. E. Becquerel pour l'électrolyse des composé
tiples en vertu de laquelle il y a toujours 1 équivalent
gène, de chlore ou d'acide pour 1 équivalent d'électri

[illegible] décomposée ; or on en trouve 2 dans l'eau oxygénée au lieu [illegible]. Mais si on considère l'eau oxygénée, ainsi que nous [illegible] fait pour les dissolutions salines, comme la combi[illegible] d'un équivalent d'eau avec un équivalent d'oxygène, [illegible]valent d'oxygène remplaçant celui d'acide, la base, qui [illegible]hydrogène, va à l'électrode négatif, pendant que les deux [illegible]valents d'oxygène, dont l'un remplace celui d'oxyde, vont [illegible]ectrode positif. Il se passe ici la même chose qu'avec l'eau [illegible]lée, qu'on doit considérer comme un hydrate d'acide sul[illegible]que, par exemple, l'hydrogène de cet hydrate se dégageant à [illegible]trode négatif pendant que son oxygène et son acide se dé[illegible] au positif. C'est ce que démontrent les nombreuses ex[illegible]res faites sur ce sujet par divers physiciens et notam[illegible] par Daniell et Miller[1].

§ 3. Exceptions apparentes aux lois de l'électrolyse et confirmation de ces lois.

[illegible] venons d'établir la loi de l'action chimique définie du [illegible]ant, qui consiste en ce qu'une même quantité, soit un [illegible]valent d'électricité, décompose toujours un équivalent d'un [illegible]trolyte. Nous avons vu que cette loi, qui est générale quand [illegible]mbinaison soumise à l'électrolyse ne se compose que de [illegible] équivalents, doit être nécessairement modifiée dans les cas [illegible] entre dans le composé plus d'un équivalent de l'un de ses [illegible]ents. Nous avons reconnu que, malgré les travaux de [illegible] Matteucci et E. Becquerel, un nouvel examen est encore [illegible]saire pour connaître toutes les modifications que la loi doit [illegible]r dans ce cas, et qui sont probablement différentes dans les [illegible]s composés à proportions multiples.

[illegible] nous partons de l'idée mise en avant par Faraday que le [illegible]ant qui agit dans l'électrolyse n'est que *la force chimique [illegible] en circulation et transportée intégralement d'un point à un [illegible] sous forme de courant, et agissant à distance, au lieu de n'a[illegible]qu'au contact*, la loi des équivalents électro-chimiques en est [illegible] conséquence nécessaire et rigoureuse, car la même force

[1] Voyez pour plus de détails la note finale E.

chimique doit décomposer partout un équivalent du composé. Cependant cette loi est souvent dissimulée p foule de circonstances au milieu desquelles il devient ass cile de la discerner pour que la généralité en ait été mise en Ainsi on a cru que parmi les corps composés il y en a pouvaient conduire le courant à la façon des métaux, s décomposés; on a été conduit à admettre que, dans grand nombre de cas d'électrolyse, les deux pôles avai puissance inégale de décomposition et de transport; en on a signalé bien des anomalies et des exceptions à la trolytique. Mais nous allons, en les étudiant, montrer ne sont qu'apparentes et qu'elles peuvent toutes s'expli tenant compte des actions secondaires qui proviennent gagement des éléments qui, à l'état naissant, ont une chimique toute particulière et des modifications qu' constamment à la nature même de l'électrolyte, qui par conséquent rester identique, l'apparition des n substances provenant, soit directement, soit indirecte l'électrolyse. C'est surtout aux variations de conductib résultent pour différentes parties de l'électrolyse de cet rition, que sont dues les principales anomalies apparen

Faraday, le premier, avait lui-même indiqué, com mant une exception à la loi électrolytique qu'il avait verte, certains composés, tels que le sulfure d'argent e dure de mercure, capables de conduire le courant q élevait leur température sans être décomposés. Ces exc et d'autres encore du même genre, ont disparu, grâce cherches de M. Hittorff et de M. Beetz. Le premier a tro le sulfure d'argent est décomposé même à la température naire[1]; il se forme à l'électrode négatif une tache brilla gent métallique qui demeure toujours assez petite, par soufre déposé à l'électrode positif ne tarde pas à arrête

[1] Faraday lui-même, en signalant le fait que la simple élévation d ture, provenant du passage du courant, suffisait pour augmenter la co du sulfure d'argent, observe qu'il se forme à l'électrode positif un (de soufre) qui empêche la transmission du courant et qui ne peut ét qu'à la décomposition électro-chimique du sulfure.

moins que cet électrode ne soit d'argent ou d'un autre apable de se combiner avec le soufre. Si l'on opère à npérature élevée, le sulfure devient aussi bon conduc- ı'un métal, et cependant, même après une expérience de durée, il n'y a qu'une petite quantité de sulfure décom- . l'argent réduit est loin d'être équivalent à l'hydrogène dans un voltamètre placé dans le même circuit. Cela :e que l'argent réduit à l'état métallique par l'électrolyse r établir entre les deux électrodes une communication le courant passe tout entier. Il est vrai que cet accrois- de conductibilité disparaît quand le sulfure revient à la ature ordinaire, mais cet effet est dû à la rupture de la nication métallique par le refroidissement de la masse; n effet, impossible d'admettre que le sulfure puisse, à npérature élevée, transmettre le courant sans être dé- é; car si l'on prend pour électrode positif une plaque , ou de tout autre métal qui ne puisse se combiner avec re, il se dépose toujours du soufre à cet électrode, quelle it la température à laquelle se fait l'expérience; le sul- argent ne cesse donc jamais d'être décomposable par le t, et le grand accroissement de conductibilité qu'il pré- ı de hautes températures, quand l'électrode positif est ıt ou de platine, ne tient qu'à l'établissement d'une nication métallique directe entre les deux électrodes. Le alfure de cuivre et le proto-sulfure d'étain présentent les phénomènes que le sulfure d'argent. M. Hittorff, en t sur le premier de ces sulfures mis à l'abri du contact de ı observé que sa conductibilité s'accroît rapidement à e que la température s'élève, et a reconnu que lorsque rant l'a traversé pendant quelque temps, il y a du libre à l'électrode négatif, et que le soufre dégagé au a fait passer le sous-sulfure à l'état de monosulfure. nation de ce monosulfure qui est conducteur, et la ma- lont le cuivre se dépose à l'électrode négatif en minces nts qui s'avancent vers le positif, diminuent notablement gueur de la colonne de sulfure traversée réellement par ant, et expliquent l'accroissement considérable de con-

ductibilité qui se manifeste et qui n'est détruit qu'en p
quand on revient à la température ordinaire.

M. Beetz, de son côté, a constaté, comme M. Hittorff l'
fait pour le sulfure d'argent, que le biiodure de mercure
décomposé par le courant dès qu'il est capable de le transm
Dans ce but, après avoir purifié ce composé par une double
blimation, il l'a introduit dans un tube de verre qu'il
desséché, et dont il avait fermé les deux bouts à la lampe
y avoir introduit deux fils de platine pour mettre le bii
dans le circuit où il avait également placé un galvanom
une seule aiguille peu sensible et un voltamètre chargé
sel d'argent. Le biiodure était chauffé dans un bain de
à 100° il commença à devenir conducteur. En même
qu'il acquérait la couleur jaune et qu'il éprouvait un com
cement de fusion, des traces de décomposition devinren
sibles par la propriété qu'acquirent les électrodes de p
de donner eux-mêmes naissance à un courant, propriété
mée polarisation, et dont nous parlerons dans le parag
suivant. Le biiodure étant devenu tout à fait liquide, M.
y fit passer un courant pendant quatorze heures, ayant so
maintenir la même température ; pendant tout ce temps,
guille du galvanomètre conserva la même déviation, e
trouva à la fin de l'expérience 0gr., 162 d'argent réduit au
tamètre. Toutefois le tube qui renfermait le biiodure ayan
brisé, on n'aperçut aucune trace de mercure au fil négatif,
la masse était devenue noire autour du fil positif, et en
tant quelques fragments sur un papier imprégné d'amido
vit paraître la couleur violette qui indiquait la présen
l'iode pure, tandis qu'il se trouvait du protoiodure à l
trode négatif. Il était difficile de déterminer exactement la
portion d'iode dégagée ; cependant M. Beetz put juger app
mativement qu'elle était inférieure à ce qu'elle aurait d
d'après la quantité de l'argent réduit dans le voltamètre ; c
tient probablement à ce qu'une partie de l'iode se recom
avec le protoiodure qui existe toujours mélangé avec le b
dure, et même avec celui que produit l'électrolyse. Le fluo
de plomb avait été également cité par Faraday comm

ıle des corps composés qui peuvent devenir très-conduc-
par la simple élévation de température, même avant
fondus, et sans éprouver de décomposition. M. Beetz a
ıté d'une manière positive que ce composé est électrolysé
ne le courant le traverse. En effet, les lames de platine
rvent à le mettre dans le circuit sont polarisées comme
e biiodure, et à mesure qu'il entre en fusion, on voit des
ı d'un gaz incolore se dégager à l'électrode positif qui est
me temps fortement attaqué, et une masse grisâtre qui est
iage de plomb et de platine se former au négatif. L'ai-
ı du galvanomètre placée dans le circuit garde la même
ıion pendant tout le temps que dure l'électrolysation du
ıre, et la quantité de l'argent réduit dans le voltamètre
ırée au poids du plomb obtenu, indique que le fluorure de
ı obéit à la loi des équivalents électro-chimiques.
ıs avons déjà mentionné dans le premier chapitre la pro-
que possède le verre de devenir conducteur quand on le
fe. M. Beetz s'est assuré, en opérant sur des verres de
ntes qualités, et en particulier sur le verre soluble de
ı, qu'ils deviennent conducteurs entre 200 et 220°, et que
ı de platine au moyen desquels ils sont mis dans le cir-
ıont fortement polarisés, ce qui prouve l'existence de
rolyse. Nous verrons plus tard des preuves encore plus
es de cette décomposition dans l'emploi qu'a fait M. Buff
rre fondu comme liquide conducteur interposé entre les
ıs d'une pile.
ıs de toutes les anomalies que présentent les phénomènes
lectrolyse, ceux qui ont le plus attiré l'attention des p y-
s, et qui ont paru, au premier abord, échapper le plus
ıis générales qui régissent ce mode d'action, c'est l'iné-
de part respective dans la production des éléments trans-
ı aux deux électrodes, que semblent avoir, dans bien des
a moins, les deux portions de l'électrolyte dans lesquelles
ent chacun des électrodes. MM. Daniell et Miller avaient
ré les premiers, en se servant de l'appareil composé de deux
es séparées par une membrane, et remplies l'une d'eau
lée, l'autre d'une dissolution de sulfate de cuivre ou de

sulfate de zinc, que lorsque l'électrode positif plon dissolution de sulfate et le négatif dans l'eau acidul que de l'oxygène et de l'hydrogène pour produits de position, tandis qu'en changeant les électrodes de de l'oxygène à l'électrode positif et le métal au né les deux cas, un équivalent d'acide sulfurique se tr l'oxygène à l'électrode positif. Si on remplit les de également de sulfate de cuivre ou de zinc, on s'assure en analysant après l'expérience les liquides contenus d cellule, que tout le cuivre ou tout le zinc déposé à négatif provient uniquement du sulfate contenu dan où plonge cet électrode.

Parmi les expériences de Daniell et Miller, nous c core celles dans lesquelles du sulfate de potasse et d magnésie ayant été mis successivement dans la cellu on n'obtint que $\frac{1}{3}$ de l'équivalent de potassium et celui de magnésium. L'alumine, la magnésie ou cuivre ne se rendent en aucune proportion à l'électr plongé dans une dissolution acide, quand ils form potasse un sulfate double, dont la dissolution est mi munication avec l'électrode positif.

Dans tous les phénomènes que nous venons de membrane qui sépare le vase en deux compartime cune influence sur les résultats; aussi peut-on la par un simple tube en syphon rempli de liquide, qu communication entre les deux compartiments pos gatif. C'est en se servant d'un mode de communi logue qu'a opéré M. Pouillet quand il a trouvé un du même genre que celles que nous venons de décri décomposition du chl Il plaçait la dissolu chlorure dans une sé en U dont la partie plus étroite, ne per aux liquides qui re les deux branches p se mêler facilement.

Fig. 239.

ınt les colonnes liquides des tubes successifs par des
tine, et en faisant communiquer les colonnes extrêmes,
c l'électrode positif, l'autre avec le négatif, il a remar-
lorsque le courant avait passé pendant un certain
utes les branches négatives des tubes étaient moins
que les positives, que de l'or s'était déposé dans le fil
ıns trace de dégagement d'hydrogène, et que du chlore
gagé sans oxygène autour du fil positif. Il était facile
ter que, tandis que le liquide de la branche positive
autant de chlorure d'or qu'au commencement de
ıce, celui de la branche négative en avait perdu une
précisément correspondante au poids de l'or déposé.
rait en résulter que la puissance décomposante appar-
usivement à l'électrode négatif.
torff est parvenu à un résultat encore plus général en
: que la proportion du métal réduit par l'électrolysa-
est fournie respectivement par la partie du liquide en
ıvec l'électrode négatif et par celle où plonge le po-
ıeure la même pour une même dissolution, quelle que
rce du courant, mais varie avec la nature et le degré
ntration de cette dissolution. L'appareil dont il a fait
compose, comme celui de Daniell, d'un vase en verre
ue séparé en deux compartiments, non par un dia-
poreux, mais par une rondelle de verre d'un diamètre
que celui du vase, de façon qu'il reste entre le bord de
delle et la paroi intérieure du vase une couche liquide
urant peut traverser. Le vase tout entier est rempli de
dissolution, l'électrode positif plongeant dans l'un des
ments et le négatif dans l'autre ; l'appareil est disposé
qu'on puisse le séparer en deux pièces correspondantes
: compartiments, et à ce qu'au moyen d'un obturateur
qu'on introduit entre elles il soit facile de conserver,
ls se mélangent, les liquides contenus dans chacun.
cylindrique est placé verticalement ; l'électrode positif
ıs sa partie inférieure est fait dans chaque cas du
étal qui sert de base au sel soumis à l'électrolysation ;
f est d'argent et a la forme d'un petit cône dont le

sommet est en haut, afin de mieux retenir le dépôt métall
Après chaque expérience on pèse ce dépôt, puis on déte
le poids du métal perdu par la portion de liquide rem
dans le compartiment négatif; on retranche ce second poi
premier, ce qui donne la quantité de métal qui, fourni
le compartiment positif, a été transportée de l'électrode
tif au négatif. Le rapport entre cette quantité et la qu
totale du métal déposé indique la proportion de métal
portée.

Voici d'abord les résultats obtenus avec des dissolutio
cuivre à divers degrés de densité :

DENSITÉ de LA DISSOLUTION.	QUANTITÉ DE SULFATE DE CUIVRE par rapport à l'eau.	PROPORTION de CUIVRE TRANSPORT
1.0521	1 sulfate de cuivre pour 6.35 eau.	27.6 pour 10
1.0553	1 » pour 18.08 »	34.5 pour 10
1.0254	1 » pour 39.67 »	35 pour 10

On a opéré exactement de la même manière sur des
tions d'acétate, de nitrate et de sulfate d'argent, et on a t
à la suite d'un grand nombre d'expériences faites avec
coup de soin, que la proportion transportée de l'électro
gatif au positif avait été, pour

L'acétate de. . . . 62,6 pour 100
Le sulfate de. . . . 44,6 pour 100
Le nitrate de. . . . 47,4 pour 100

Il est à remarquer que, quoique les quantités absolues f
quelquefois très-différentes d'une expérience à l'autre, le
ports variaient très-peu de ceux indiqués ci-dessus, qui s
moyenne des résultats obtenus pour chaque sel. La du
l'expérience n'était point toujours la même, mais il n'en
tait pas de changement appréciable dans la valeur des ra
trouvés. Quand le métal, dans son dépôt l'électrode m

compagné d'un dégagement d'hydrogène, on peut être
n qu'une partie tout au moins de ce métal est à l'état
le; c'est ce que M. Hittorff a vérifié en employant pour élec-
e une dissolution bien neutre de sulfate de fer : le poids
: déposé à l'électrode négatif s'est trouvé supérieur à celui
ésultait en vertu de la loi des équivalents de la décompo-
du nitrate d'argent placé dans le même circuit; en effet,
écipitant par l'ammoniaque, après l'avoir dissous dans
régale, le dépôt de fer qui pesait 1gr.,3625, on trouva
e fer proprement dit n'entrait dans ce poids que pour
)542, nombre bien peu différent de 0gr.,9537, calculé d'a-
équivalent d'argent déposé par le même courant.
fait encore assez important à noter, c'est que lorsque le
e d'argent est dissous dans l'alcool au lieu de l'être dans
ce qui le rend beaucoup plus mauvais conducteur et fait
l'opération beaucoup plus longtemps, on ne trouve que
ur cent d'argent, transporté de l'électrode positif au né-
au lieu de 47 pour 100.
; faits divers que nous venons de rapporter ne prouvent,
nt nous, ni une différence de pouvoir dans les pôles,
ie le croit M. Pouillet, ni, comme semblent le présumer
Daniell et Hittorff, une faculté de transport variable avec
ture de la combinaison soumise à l'électrolysation, et dé-
ante jusqu'à un certain point de l'affinité qui unit ses élé-
s. Ils sont uniquement l'effet de la non homogénéité des
les soumis à l'expérience, d'où résulte que le courant ne
npose pas seulement le sel dissous, mais décompose aussi
plus ou moins acidulée qui se trouve dans la dissolu-
M. d'Almeida a fait voir, en effet, que dans l'électrolysa-
l'un sel dissous, le dépôt du métal, du cuivre, par exemple,
ectrode négatif, peut provenir de deux sources, ou de
trolyse directe du sel, ou d'une action secondaire, savoir
luction opérée au moyen de l'hydrogène naissant dû à la
mposition de l'eau. Si la dissolution est parfaitement
re, et surtout si elle reste neutre pendant toute la durée
expérience, le métal déposé à l'électrode négatif provient
que entièrement de la décomposition directe du sel; si la

dissolution est acidulée, l'hydrogène naissant est la caus
cipale de la réduction du sel.

M. d'Almeida a vérifié l'exactitude de sa règle gén
opérant sur des dissolutions de nitrate d'argent et de
de sulfate de cuivre, d'argent et de zinc; il y a se
une très-grande difficulté à maintenir une dissolution
pendant toute la durée de l'électrolyse. La dissoluti
mise à l'expérience, par exemple, une dissolution ne
nitrate d'argent, est placée dans deux vases distin
communiquent entre eux par une très-petite ouverture
dans les tubes de M. Pouillet (fig. 239). Dans l'un d
plonge une lame de platine servant d'électrode néga
l'autre une lame d'argent, qui est l'électrode po
courant passe pendant 28 heures; au bout de ce te
trouve 140 millig. d'argent déposés à l'électrode né
l'analyse montre que 73 de ces 140 proviennent de la
tion qui environne cet électrode et 67 de l'autre vase;
cas, la dissolution est aussi neutre que possible, et ell
tretenue à cet état par l'électrode positif en argent qui
bine à mesure avec l'acide nitrique qui s'y porte. Si la
tion est légèrement acide, on trouve que les 140 millig
à l'électrode négatif ont été en entier enlevés à la di
placée dans le vase où plongeait cet électrode. Il est évid
dans le premier cas, la décomposition du nitrate d'arg
opérée presque uniquement par voie d'électrolyse, p
comme cela doit avoir lieu dans ce mode, d'après la th
Grotthus, les éléments déposés aux deux électrodes ont
nis également par les parties de la dissolution en con
chacun d'eux. Dans le second cas, au contraire, l'eau
qui est dans la dissolution étant plus conductrice que le
c'est elle qui est décomposée, et son hydrogène naissant
la réduction du sel à l'électrode négatif, ce qui fai
métal réduit est fourni uniquement par le liquide en
avec cet électrode. M. d'Almeida s'est assuré en effet
ment que l'eau acidulée, telle qu'elle se trouve dans la
tion du nitrate, conduisait mieux le courant électri
cette dissolution à l'état de neutralité.

hose se passe dans toutes les expériences que nous dans ce paragraphe, et en particulier dans celles t et de M. Hittorff. Ainsi, dans les premières, c'est hlorique, qui se trouve toujours dans la dissolution d'or, qui est décomposé plutôt que le chlorure nauvais conducteur; le chlore se dégage à l'élec- et l'or du chlorure qui entoure l'électrode négatif l'hydrogène naissant. Il résulte de cette réduction constante de l'acide hydrochlorique, qui remplace ıi est décomposé.

:périences de M. Hittorff, les effets observés sont partie du métal réduit provient de l'électrolyse l, et l'autre de la réduction par l'hydrogène dû sition de l'eau acide que renferment les dissolu- métalliques si rarement et si difficilement neutres. e l'exactitude de cette explication, c'est que plus ı de cuivre est étendue, plus la proportion de : directement par l'électrolyse devient considé- qu'on diminue la force de l'eau acidulée. Il n'est ıon plus que, quoique l'électrode positif soit en un sel de cuivre, et en argent dans un sel d'ar- accumulé autour de cet électrode soit en totalité r le métal; il est probable, au contraire, qu'il en dissolution à l'état libre, et alors c'est l'eau aci- ıdécomposée, et son hydrogène contribue en partie ı du métal. En effet, ainsi que le prouvent les ré- riques consignés plus haut, la proportion du sul- décomposée par l'électrolyse directe est moindre nitrate, qui est presque en entier décomposé de ', parce que l'acide sulfurique dégagé à l'électrode pe en plus grande quantité que le nitrique à la avec l'argent. Le seul fait assez singulier, c'est étate d'argent, la proportion d'argent fournie par ent positif soit plus considérable que celle qui est e négatif lui-même. Il est probable qu'il y a là nge des liquides contenus dans les deux compar- en passe en particulier de l'électrode positif au

négatif une petite quantité qui augmente ainsi la pro
du sel d'argent qu'on trouve dans le compartiment n
Ce mélange doit provenir essentiellement de la différ
densité des liquides, et peut-être aussi d'un transpo
canique qui n'a lieu d'une manière sensible que lor
liquide est conducteur imparfait, ce qui est le cas ic
qui fait durer l'expérience deux fois plus de temps qu'
dissolutions de nitrate et de sulfate. Au reste, cette
origine du métal déposé à l'électrode négatif dans l'éle
des sels se reconnaît à l'apparence même du dépôt, qui
différente, suivant que le métal provient de l'électroly
la réduction par l'hydrogène. C'est ce qu'il est facile de
ter en se servant de dissolutions plus ou moins acides
ou moins épuisées de sulfate de cuivre et de nitrate d
Ainsi M. Smee a vu, en décomposant du sulfate de c
moyen d'un courant de 2 couples, le premier dépôt d
être brillant, uni et ductile, c'est celui qui provenait e
ment de l'électrolysation; le second était un peu cass
qu'il y avait déjà mélange du cuivre provenant de l'él
et de celui réduit par l'hydrogène; enfin le troisiè
comme du sable, puis spongieux, il n'y avait à peu
que le cuivre réduit par l'hydrogène; et enfin l'hydro
zeux lui-même finissait par paraître; la liqueur, évid
ne renfermait presque plus de sulfate, et était deve
acide; et cependant l'électrode positif était de cuiv
reviendrons sur ce sujet, et en particulier sur le t
M. Smee, en nous occupant dans notre sixième parti
plications métallurgiques de l'électricité, pour lesqu
questions ont une très-grande importance, comme o
comprendre par l'exemple du cuivre que nous venons de

Toutefois, nous remarquerons encore que l'explica
laquelle M. d'Almeida rend si bien compte de l'appare
galité d'électrolysation autour des deux électrodes, s'
aussi bien, ainsi qu'il l'a remarqué lui-même, au cas
alcalins et terreux qu'à celui des sels métalliques, et
trouve même une confirmation remarquable. Ainsi,
avoir versé des quantités égales de nitrate de potasse

: vases de ses expériences précédentes, il rend acide la dis-
ion où plonge l'électrode positif, il trouve qu'après la
nposition il n'y a eu qu'une très-faible proportion de cette
e de la dissolution qui ait été décomposée, le courant
t passé de préférence à travers l'eau acidulée; c'est au
aire, dans le vase négatif, que la décomposition du sel a
plus faible si on a rendu fortement alcaline la dissolution
vase. Maintenant, ce qu'on fait artificiellement, s'opère
ellement par l'électrolyse même du sel qui rend acide la
lution positive, et alcaline la négative; mais comme en
al l'acide des sels dissous (nitrates, sulfates) est beau-
plus conducteur que leurs bases, soude, potasse, etc., il
suite que le sel doit subir, et subit en effet, une décom-
on moins abondante dans la partie de la dissolution où
électrode positif, qui est celle où se rend l'acide. Mais si
reste neutre pendant toute la durée de l'expérience, les
utions positive et négative fournissent également leur
à l'action électrolysante. Pour obtenir cette neutralité,
Almeida, s'il s'agit, par exemple, du sulfate de potasse,
d'avance de la potasse dans le vase positif et de l'acide
rique, en quantité équivalente, dans le négatif, avec des
nes égaux de la dissolution saline; puis il fait durer la
nposition jusqu'à ce que les quantités d'acide et de base,
duites primitivement, se retrouvent en excès du côté op-
où elles avaient été versées. Par ce procédé, chacune des
bes est alcaline pendant la moitié de l'expérience et acide
ant l'autre moitié; l'influence de l'acide et de l'alcali est
également exercée des deux côtés au moment où l'on
e la décomposition; c'est comme si la dissolution était
neutre tout le temps.
erait inutile de revenir actuellement sur les nombreuses
iences que Daniell et Miller ont faites avec l'appareil à
ragmes sur les décompositions des sels terreux et alca-
des phosphates en particulier. Nous nous bornerons à
quer qu'elles sont toutes favorables à la théorie que nous
donnée sur la composition des sels, et en particulier à
le Graham sur les phosphates, dans laquelle il fait jouer

à l'eau le rôle d'une base, et quant aux différentes propo
fournies par les deux compartiments dans les produ
l'électrolyse, l'explication de M. d'Almeida s'y appliqu
faitement bien.

L'étude que nous venons de faire des formes si variées
apparence quelquefois si complexes sous lesquelles se pr
la décomposition électro-chimique, tout en nous permett
ramener ces formes aux lois simples de Davy et de Farad
nous en montre pas moins la difficulté qu'il y a à décou
lois au milieu de tant de causes de perturbation. Aus
nécessaire de se mettre à l'abri de l'action de ces caus
établir sur des bases solides la généralité de la loi de l
définie du courant, qui a été niée par plusieurs physicien
ce qu'ont fait successivement M. Buff et M. Soret dans
cherches conduites avec un soin et une précision remarq

M. Buff a eu surtout pour but de vérifier l'exactitud
loi électrolytique dans les cas de très-faibles courants
conséquent d'actions très-prolongées, cas dans lesquel
composition est souvent peu apparente et où par conséq
faut beaucoup de temps pour en découvrir et en ap
l'effet, ce qui fait que bien des physiciens avaient c
non-seulement l'existence de la loi, mais même celle
lectrolyse, lorsque l'électricité transmise n'atteint pas
tain degré d'intensité. M. Buff avait eu d'abord en vue
terminer le rapport de l'action électrolytique à la fo
courant. Le liquide soumis à la décomposition était un
tion de nitrate d'argent neutre d'une parfaite pureté
lames d'argent y étaient plongées, en sorte que sous l'in
du courant il se détachait de l'une de l'argent qui allait
ter sur l'autre. Il se servait dans ses expériences d'un
de Daniell, de manière à conserver une force presque co
pendant plusieurs jours. Il faisait varier la force du cou
introduisant dans le circuit des fils de longueur varia
servaient en même temps de fils à des galvanomètres mul
teurs de manière qu'au moyen de la déviation produite s
guille, on pouvait constater le degré de constance du c
Les fils étaient au nombre de deux et suivant qu'ils

e circuit l'un à la suite de l'autre, qu'un seul s'y
que tous les deux étaient disposés l'un parallèle à
btenait trois courants dont l'énergie relative peut
ıtée par 1, 2 et 4. La résistance des fils était assez
que celle de la pile réunie à celle de l'auge de dé-
ne pût en être qu'une petite fraction. Il résulte du
xpériences faites en grand nombre que toujours le
ôt d'argent a été proportionnel à la force et à la
ırant. M. Buff a également mis dans le circuit du
ant deux auges successives remplies de la même
gent; les deux fils de résistance étaient ajustés
; les électrodes, au nombre de quatre, étaient des
nt fin. Le courant est demeuré en activité sans in-
endant neuf jours environ, soit 12,539 minutes.
e temps on a trouvé :

	Dans la 1re auge	Dans la 2e auge.
ls de la lame positive. . .	267mm,0	267mm,6
n de la lame négative. . .	266 ,6	267 ,4

ı d'argent renfermait 25 milligrammes de nitrate
tre dans un centimètre cube; une solution plus
renfermait seulement 10 milligrammes par centi-
ıt mise à la suite de la première. Au bout de cin-
e heure et demie, la lame d'argent négative avait
poids de 124,66 milligrammes dans la solution la
rée, et de 124,16 dans la plus étendue. Ainsi le
lution soit plus ou moins étendue n'exerce aucune
la loi électrolytique.

çant l'une des solutions d'argent par de l'eau pure
ı bout de quatre jours, soit 5,470 minutes, une
n de 24 milligrammes à la lame négative qui
la solution d'argent et une couche d'oxyde d'ar-
ıme positive d'argent plongée dans l'eau, qui, en-
ɔin, détermine une perte de poids de cette lame
ammes. Ainsi l'effet de l'électrolysation de l'eau,
très-faibles courants, est semblable à celui de l'é-
ı de la solution d'argent, et cependant on aurait

cru à l'œil que l'eau n'était pas décomposée. Il en est de m
avec l'eau légèrement aiguisée par l'acide sulfurique.

Enfin, l'électrolysation du sulfate de cuivre a présen
M. Buff un accord parfaitement satisfaisant avec celle du ni
d'argent, pourvu que la solution fût parfaitement pure e
pouillée de tout excès d'acide. Il est donc bien établi par l
périences de M. Buff qu'on peut constater que les co
même les plus faibles, si leur action est suffisamment p
gée, décomposent les liquides électrolytiques suivant la l
l'action définie de Faraday, et qu'il ne paraît pas que, l
dans la plus minime proportion, ils traversent ces liquide
les décomposer.

C'est aussi sur des sels de cuivre, soit purs, soit mé
avec d'autres, que M. Soret a vérifié la loi de Faraday
commencé par préparer ces sels de manière à les avoir
purs et aussi neutres que possible par une série de cri
sations et de dissolutions successives. Il opérait ses d
positions en plaçant ses solutions dans des tubes et e
ployant pour électrodes des fils de platine de 1 mil. à 1
de diamètre. Son courant était produit par des piles de l
de 2 à 5 couples faiblement chargés. Quand il estimait qu
tion avait été suffisamment prolongée, il enlevait les élec
recouverts de cuivre, les plongeait pendant quelque temp
l'eau distillée pour les laver, puis les desséchait rapid
avec du papier joseph et les pesait; il dissolvait ens
dépôt de cuivre dans l'acide nitrique, et pesait de nouv
fils de platine pour avoir le poids du cuivre déposé. Il e
cessaire, pour obtenir de bons résultats, que le dépôt de
soit uni et compacte; autrement on risque qu'une pa
cuivre ne se détache ou ne s'oxyde. M. Soret n'a pas
d'avantage à employer du cuivre au lieu de platine pou
trode positif, la dissolution de ce cuivre ne se faisant p
jours d'une manière normale, et des expériences délicates
ayant pas indiqué de différences sensibles dans la quan
cuivre déposé suivant que la dissolution était neutre ou a

[1] M. Jacobi, à la suite de nombreuses expériences et en se servant d'é

trois expériences ont fourni les résultats suivants :

	POIDS DU CUIVRE ÉPOSÉ DANS LE SULFATE DE CUIVRE.		DIFFERENCES.
	Neutre.	Acide.	
xpérience.	0g.1663	0g.1664	+0.0001
xpérience.	0g.1353	0g.1355	+0.0002
xpérience.	0g.3360	0g.3362	+0.0002

avoir vérifié par de nombreux essais que, dans nstances identiques, deux dissolutions parfaitement es de sulfate de cuivre donnent des dépôts égaux dixièmes de milligrammes près, il a trouvé qu'il en ème pour deux dissolutions, l'une saturée, l'autre Mais si les deux dissolutions, tout en étant semblables, s températures différentes, l'une à 20°, l'autre à 100°, ple, cette dernière donne un dépôt de cuivre sensible- ndre, ce qui tient, ainsi qu'on peut s'en assurer directe- action dissolvante du sulfate de cuivre à 100°, même ur le cuivre métallique.

ate, du phosphate et de l'acétate de cuivre ont été mis mment avec le sulfate dans le circuit : chacune de ces ns a donné dans chaque cas le même dépôt de cuivre de négatif que le sulfate. Les différences sur des pe-

ivait renoncé à se servir de la décomposition du sulfate de cuivre ner l'intensité du courant, à cause des nombreuses anomalies que cette n lui avait présentées. Ainsi en additionnant les poids de cuivre per- é et réduits de l'autre, il avait trouvé dans une série d'expériences, uivre perdu pour 7,1743 de cuivre réduit ; ce qui fait une différence 100. M. Jacobi reconnaît lui-même que cette anomalie tient à ce que es ont été faites avec du sulfate de cuivre du commerce, qui n'est pas plication se trouve amplement justifiée par les résultats qu'a obte- en employant du sulfate de cuivre chimiquement pur. En effet, dans mporte que la solution devienne acide ou reste neutre, la quantité posée à l'électrode négatif devant pour un même courant demeurer elle provienne de l'électrolyse directe ou de la réduction par l'hy-

sées de 1 à 2, et même à 4 ou 5 décigrammes, et
moyenne de 2 dixièmes de milligrammes, tantôt dans
tantôt dans un autre, et n'ont jamais dépassé 4 dixiè
dans un seul cas où la différence s'est élevée à 6 dix
faut seulement ne pas trop prolonger l'action avec l
pour ne pas libérer beaucoup d'acide nitrique, cet ac
çant bientôt une action dissolvante sur le cuivre dép
faut que l'acétate soit très-concentré, le dépôt de cu
cela, n'étant pas compacte et les différences étant trop

Le sulfate de cuivre et le sulfate de potasse, m
volumes égaux, forment une dissolution qui donne
dépôt que le sulfate de cuivre pur. Le bichromat
tasse mélangé avec le sulfate de cuivre ne forme a
pôt, mais donne seulement un dégagement de gaz
lange du sulfate de cuivre et du borate de soude
dépôt de cuivre, mais ce dépôt est toujours un peu
sidérable que ceux obtenus simultanément dans le
cuivre pur, et les différences sont trop grandes de 3
grammes pour pouvoir être attribuées à des erreur
riences. Le dépôt n'est d'ailleurs jamais compacte et
reste un peu oxydé, ce qu'il doit à sa forme légèrem
gieuse. Le sulfate de protoxyde de fer mélangé au
cuivre diminue sensiblement le dépôt du cuivre, ce q
ce que le cuivre se dissout dans le sulfate de fer au
et à ce qu'il se forme toujours une certaine quantité de
quand on laisse le sulfate de protoxyde de fer expos
formation qui doit être facilitée par le dégagement
et d'acide libre qui accompagne l'électrolyse. Le
manganèse produit le même effet que le sulfate de pro
fer. Le nitrate de cobalt, les sulfates de zinc et de
n'altèrent nullement le poids du dépôt de cuivre,
trouve pas trace dans ce dépôt de cobalt, de zinc et de
ce qui prouve bien que le cuivre seul se dépose. Voici
des résultats comparatifs obtenus par le passage du m
rant dans une dissolution saturée de sulfate de cuiv
de terme de comparaison, et dans une autre dissol

DE LA DISSOLUTION comparée LFATE DE CUIVRE.	POIDS DU CUIVRE déposé dans le sulfate de cuivre à saturation.	POIDS DU CUIVRE déposé dans la dissolution inscrite à la 1re colonne.	DIFFÉRENCE.
	gr.	gr.	gr.
uivre étendu de $\frac{1}{2}$ volume	0.3391	0.3397	+0.0006
uivre étendu de 1 volume	0.1786	0.1782	—0.0004
uivre étendu de 1 volume	0.3319	0.3315	—0.0004
cuivre étendu de 1 volume	0.2577	0.2580	+0.0003
cuivre concentré.	0.2838	0.2837	—0.0001
cuivre concentré.	0.4900	0.4898	—0.0002
cuivre concentré.	0.1265	0.1259	—0.0006
de cuivre dissous dans l'asphorique.	0.1805	0.1809	+0.0004
de cuivre dissous dans l'asphorique.	0.1207	0.1210	+0.0003
de cuivre dissous dans l'asphorique.	0.1389	0.1388	—0.0001
cuivre.	0.0842	0.0841	—0.0001
cuivre.	0.0807	0.0809	+0.0002
e sulfate de cuivre et de le potasse.	0.2040	0.2039	—0.0001
e sulfate de cuivre et de e potasse.	0.1195	0.1199	+0.0004
sulfate de cuivre et d'azobalt.	0.0886	0.0883	—0.0003
sulfate de cuivre et d'azobalt.	0.0834	0.0835	+0.0001
sulfate de cuivre et de sulinc.	0.1358	0.1456	+0.0003
sulfate de cuivre et de sulinc.	0.1009	0.1011	+0.0002
sulfate de cuivre et de sulcadmium.	0.1280	0.1282	+0.0002

ouvons donc conclure de ces dernières expériences que équivalents électro-chimiques se trouve justifiée dans s des erreurs d'observation, et que, s'il y a une pro- électricité qui traverse le liquide sans produire de ition, elle ne peut être qu'une fraction très-petite,

$\frac{1}{400}$ au plus de la quantité totale d'électricité transmise; en effet, si elle était de $\frac{1}{500}$ ou moins, les différences qui en résulteraient seraient évidemment plus petites que les erreurs d'observation[1].

§ 4. Influence des électrodes sur les décompositions électro-chimiques.

Il existe encore une circonstance qui, indépendamment de son effet propre et distinct, joue également un rôle important dans celles que nous venons d'énumérer, je veux parler de la nature, de la forme et de l'état physique des électrodes qui établissent la communication entre les pôles de la pile et le liquide à décomposer. L'influence de cette portion du circuit est trop générale et trop considérable pour que nous ne devions pas l'étudier de très-près et chercher à l'apprécier.

Nous avons déjà vu qu'il existe toujours dans le passage du courant d'un conducteur solide dans un liquide une résistance indépendante de la conductibilité propre du corps solide et du corps liquide. Cette résistance se manifeste d'une manière très-prononcée quand on sépare un conducteur liquide en deux parties par une lame mince de métal, ou quand on réunit deux liquides conducteurs placés dans deux vases distincts où plongent chacun des électrodes, par un arc métallique. En plaçant un galvanomètre et un voltamètre dans le circuit, il est facile de constater que plus le métal dont sont faits la lame ou l'arc métallique est attaquable par les liquides en contact avec eux, moins la résistance est grande. Elle varie également avec la nature relative du métal et des liquides, lors même que ce métal n'est attaquable par aucun des liquides. Ainsi, avec des lames de platine employées, soit comme électrodes, soit pour établir les communications entre deux ou plusieurs vases successifs, la résistance est beaucoup moindre avec l'acide nitrique concentré qu'avec l'hydrochlorique, avec l'hydrochlorique qu'avec le sulfurique; elle est plus considérable avec l'acide

[1] Nous verrons dans le § 4 qu'on ne peut admettre dans les liquides composés que l'électricité soit transmise autrement que par voie d'électrolyse.

ie étendu qu'avec le concentré, tandis que c'est l'inverse
acide sulfurique; les solutions salines, celles de potasse
mmoniaque, présentent à peu près la même résistance.
nsité du courant exerce une influence non-seulement sur
stance absolue, mais aussi sur la résistance relative de
iquides; ainsi, quand le courant est fort, la résistance au
e est moindre pour l'acide hydrochlorique que pour
nitrique; c'est l'inverse quand le courant est faible.
bien s'assurer que ces différences dépendent de variations
s résistances au passage, et non dans la conductibilité
uide, on se sert de plusieurs verres, quatre, par exemple,
s du liquide; on les réunit par des arcs de platine pen-
ne les électrodes de platine plongent dans les deux vases
es. Il est assez curieux de voir qu'en variant le nombre
res, et par conséquent celui des alternatives ou des pas-
'un conducteur solide à un liquide, et réciproquement,
t rendre le même système de conducteurs métalliques
s plus ou moins conducteur qu'un autre, ce qui tient
nplement à ce qu'on modifie par une variation dans le
des alternatives l'intensité générale du courant. Tel
as, comme nous l'avons dit, avec les acides hydrochlo-
t nitrique. Ainsi, en faisant de ces deux acides deux
s parfaitement semblables, communiquant chacun avec
s fils d'un galvanomètre différentiel, on trouve, en obli-
le courant à se partager entre eux, 48° en faveur de
hydrochorique, quand il n'y a qu'une alternative, et
faveur de l'acide nitrique, quand il y en a cinq. Mais,
premier cas, l'intensité du courant transmis par l'un
tèmes tout seul était de 75°, dans le second de 30°. On
le même résultat avec deux électrodes en platine em-
soit dans l'acide nitrique, soit dans l'hydrochlorique, et
ant varier l'intensité du courant par le moyen d'une
us ou moins forte.
résistance au passage diminue avec l augmentation de la
e de contact du liquide et du conducteur solide, mais on
e que la plus grande intensité du courant qui résulte de
nentation de la surface de contact, croît dans un rapport

plus grand que la surface elle-même quand le cour
faible, et dans un rapport moindre quand le courant a
tain degré d'intensité, ce degré dépendant de la nature
des conducteurs solide et liquide.

Avant de nous étendre davantage sur cet ordre de
mènes, il est nécessaire d'en chercher la cause; or,
tout entière dans la décomposition chimique opérée
courant sur le liquide en contact avec le conducteur soli
il sort. Pour bien se représenter le rôle de l'électrode d
lectrolyse, il faut considérer, comme le fait Faraday, l'
ble du circuit et cette puissance, dont nous avons déj
que possède le courant de transporter la force d'affi
s'exerce ordinairement à des distances infiniment peti
cette force part des électrodes, dont l'un attire l'oxygè
éléments acides, et l'autre l'hydrogène et les éléments b

Deux circonstances peuvent favoriser l'exercice de l
et par conséquent le passage du courant, savoir : la faci
possède en lui-même l'électrolyte à être décomposé, et l
même de la substance dont l'électrode est fait pour o
éléments de l'électrolyte que le courant tend à dégage
surface [1]. Ainsi, avec des électrodes de platine, l'acide
concentré offrira moins de résistance au passage que
sulfurique étendu ou que l'acide hydrochlorique, parce
décompose plus facilement que les deux autres acide
d'un autre côté, comme le platine a de l'affinité pour le
il se pourra que cette circonstance l'emporte sur la p
comme l'expérience nous montre que cela a lieu pour
taine intensité du courant. Cet effet est encore bien p
sible quand on emploie pour électrodes positifs des
oxydables, tels que le fer, le zinc, etc., et pour é
négatifs des peroxydes qui ont une grande affinité po
drogène, tels que le peroxyde de plomb, dont on peut r
la lame de platine. Il est évident que l'oxygène et l'hyd

[1] Nous ne parlons ici que du passage du courant à la surface de
l'électrode et du liquide, et non à travers le liquide lui-même, ce d
sage dépendant de la conductibilité du liquide, propriété dont le ra
l'électrolysation n'est pas encore déterminé.

exemple, sont tirés avec bien plus de force, l'un dans un s, l'autre dans l'autre, quand à l'action du courant s'ajoute nité de l'électrode. Mais la manière dont l'influence de la na- des électrodes se fait le plus sentir, c'est en facilitant ou en pêchant le dépôt qui se forme toujours plus ou moins à la sur- de chacun d'eux, et qui est la cause la plus réelle de la résis- au passage. Ainsi il est facile de voir que dans l'électrolyse de acidulée avec des électrodes de platine, il reste une couche e d'oxygène adhérente à la surface de l'électrode positif et semblable d'hydrogène à la surface de l'électrode négatif; deux couches, en empêchant le contact immédiat des élec- avec le liquide, nuisent à la facilité de passage du cou- , en même temps qu'elles en diminuent l'intensité, comme allons le voir, en produisant un courant secondaire dirigé contraire du courant principal. Il n'en est plus de même l'électrode, se combinant avec l'oxygène, forme un oxyde le ou quand, semblable au peroxyde de plomb, il absorbe rogène en permettant la combinaison de ce gaz avec une de son propre oxygène. Quant à l'existence de ces dépôts, la nature varie avec celle de l'électrolyte, elle peut être tée soit directement, soit indirectement par une propriété culière qu'ils impriment aux électrodes. Examinons suc- ement ces deux manières de démontrer leur présence.

examen attentif des électrodes fait bien vite découvrir à leur ce, quand ils ont été employés à l'électrolyse, les dépôts gazeux qui y demeurent adhérents. C'est ainsi qu'on s'as- que le courant même le plus faible, tel que celui d'un le, ne peut traverser un électrolyte, par exemple, l'eau aci- , sans la décomposer. Le dépôt gazeux est quelquefois si pparent, même au microscope, que pour le rendre sensible t placer dans le vide l'appareil où se fait la décomposition, rs on voit des bulles de gaz se détacher de la surface des odes de platine, et le galvanomètre qui est dans le circuit ve une déviation plus grande, preuve que la couche gazeuse la cause de la résistance au passage. Quand le dépôt est so- , il est plus facile à apercevoir et le plus souvent il forme, vu peu d'épaisseur, des couches colorées très-brillantes analo-

gues aux couleurs des lames minces. N ili, qui les a découvertes et désignées sous le nom d'apparences electro-chimiques, en a fait une étude toute particulière. Pour les obtenir, il dispose horizontalement une plaque de platine ou d'argent, ou même d'acier, au fond d'un vase plat; il la recouvre d'une couche mince d'une solution électrolytique. Puis il plonge verticalement dans le liquide au-dessus de la lame une pointe fine de platine, de façon qu'elle ne soit qu'à 1 ou 2 millimètres de distance de cette lame. La pointe et la lame servent alternativement d'électrodes positif et négatif. L'une des plus belles apparences est celle qu'on obtient sur la lame positive avec l'acétate de plomb. Elle est tout à fait semblable aux anneaux colorés de Newton et tout aussi brillante; elle est due à un dépôt très-mince de peroxyde de plomb, substance qui, comme les acides, est transportée au pôle positif. Il ne faut pas prolonger trop l'action ni employer un courant trop fort, de peur que le dépôt devenant trop épais, les couleurs ne disparaissent. Les apparences sont en général plus brillantes sur l'électrode positif; cependant on peut en obtenir de bien prononcées au négatif en employant un courant plus énergique et en mélangeant ensemble deux ou trois solutions. Il est bon, pour pouvoir comparer plus facilement les apparences positives et les négatives, de les produire en même temps sur la même

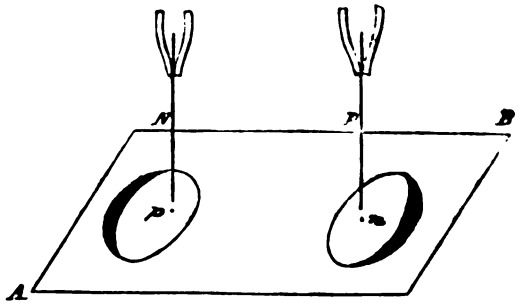


Fig. 240.

plaque; c'est ce que faisait Nobili en disposant au-dessus de la plaque A B deux fils fins de platine communiquant chacun avec un des pôles de la pile N et P (fig. 240). Le courant sortait de la pointe P, pénétrait dans la lame en *n*, puis ressortait de la lame en *p* au-dessous de la seconde pointe N dans laquelle il entrait pour

ever son circuit. Il en résultait la production d'une appa-
ce négative en n et d'une positive en p. Mais si ces apparences
ient produites de manière à être trop rapprochées l'une de l'au-
, elles étaient souvent déformées comme si elles s'étaient re-
ssées mutuellement et dilatées extérieurement. Cette défor-
tion n'avait plus lieu dès qu'on plaçait entre les deux pointes
e mince cloison en verre, de manière à empêcher toute commu-
ation directe entre les deux portions du liquide qui recouvrent
parties de la lame où se forment les apparences. Elle était donc
demment due à ce que, lorsqu'il n'y a pas de cloison en verre,
rrive que parmi les courants qui se disséminent en filets dans
it le liquide entre les deux pointes qui servent de pôles, ceux
i auraient formé le contour intérieur des anneaux colorés
eminent directement d'une pointe à l'autre dans le liquide
clusivement, au lieu de passer dans une partie de leur trajet
travers la lame, et cela à cause de la résistance au passage
'elle leur présente. Il n'en est pas de même pour les filets ex-
rieurs qui auraient un plus long trajet à faire à travers le li-
uide; aussi traversent-ils la lame, parce que, malgré la résis-
nce au passage, ce second trajet leur offre une transmission
us facile. Quand il y a la cloison, il n'y a plus de choix et
us les courants sont bien obligés de passer par la lame, ce
ui fait que les apparences ne sont plus déformées. Nous voyons
ur cet exemple que la forme et la position des apparences élec-
o-chimiques peuvent servir d'une manière très-utile à suivre
mode de propagation des courants dans un liquide.

Revenant aux apparences elles-mêmes, nous ajouterons que,
armi les plus belles, se trouvent celles qu'on obtient à l'élec-
ode positif en décomposant des substances organiques végé-
les ou animales, ce qui avait conduit Nobili à y voir la cause
e la coloration des plantes et particulièrement des fleurs. Quant
ux dépôts qui naissent de l'électrolyse des composés inorga-
iques, ils ont été l'objet d'un examen approfondi non-seulement
e la part de Nobili, mais aussi de la part de M. Becquerel. Nous
urons occasion de revenir sur les résultats obtenus par ces
eux habiles physiciens, en nous occupant des applications chi-
iques de l'électricité. Il serait inutile d'entrer ici dans plus de

détails, car il est facile de concevoir la variété innombrable d'effets qu'on peut obtenir en employant diverses solutions, soit pures, soit mélangées, en élevant ou abaissant leur température, en produisant les dépôts sur des plaques susceptibles ou non d'être attaquées par les éléments dégagés. Ajoutons seulement que la production des apparences électro-chimiques a été l'objet d'une étude expérimentale et théorique tant de la part de M. E. Becquerel, qui a cru qu'elle était soumise à une loi très-simple analogue à celle qui régit les anneaux colorés de Newton, que de la part de MM. Dubois-Reymond et Beetz, qui ont démontré que le phénomène était plus complexe et dépendait en outre de plusieurs circonstances liées avec les lois de Ohm.

Passons maintenant au mode indirect par lequel on constate la présence des dépôts; il consiste dans la propriété qu'ils impriment aux électrodes de donner naissance à un courant électrique en acquérant ce qu'on nomme une polarité secondaire; par exemple deux lames de platine qui ont servi, l'une d'électrode positif, l'autre d'électrode négatif dans l'eau acidulée, deviennent capables de former un couple voltaïque dans lequel la première lame joue le rôle du métal négatif tel que le cuivre ou le platine, et la seconde, celle du métal positif tel que le zinc. Ce couple produit un courant qui agit sur le galvanomètre et sur les voltamètres chimique et calorifique; il est vrai qu'il n'est jamais très-fort et que son action n'a qu'une très-courte durée. Quand le courant principal a traversé plusieurs diaphragmes ou arcs homogènes destinés à lier les uns aux autres divers compartiments liquides, les polarités secondaires qu'acquièrent ces diaphragmes ou ces arcs en font une véritable pile nommée *pile secondaire*, et dont l'action n'a jamais non plus une bien longue durée. Il n'est pas nécessaire pour que le courant s'établisse que le liquide conducteur dans lequel plongent les métaux polarisés soit le même que celui dont l'électrolysation les a polarisés; preuve que ce courant provient bien des métaux et par conséquent des dépôts qui ont eu lieu sur leur surface. On obtient les mêmes résultats et même à un degré d'intensité plus prononcé par la décomposition des solutions salines. Tous ces courants secondaires sont dus à la réaction

ique du liquide dans lequel plongent les lames sur les dé-
dont leurs surfaces sont recouvertes; et ce qui le prouve,
qu'on obtient les mêmes effets en déterminant les dépôts
tement au lieu d'employer pour cela l'action d'un cou-
[1]. Nous étudierons avec soin la formation de ces courants
le chapitre consacré à la production de l'électricité par les
ns chimiques dont ils sont un cas particulier. Remarquons
ment encore que la polarisation, ou plutôt les polarités
laires qu'acquièrent les électrodes toutes les fois qu'ils ont
mis de l'électricité dynamique, quelque faible ou instantanée
le soit, sont l'indice le plus sensible de la formation de dépôts
r surface et par conséquent de l'existence de l'électrolyse.
résistance au passage est-elle uniquement due à la pola-
ion des électrodes, ou bien tient-elle aussi au fait même du
gement de conducteur? Cette question a été longtemps con-
rsée. Fechner et Poggendorff ont soutenu que les deux
s contribuaient également au phénomène contre Ohm, qui
établi le premier que le fait seul du passage du courant
onducteur solide au liquide n'engendre pas de résistance,
e celle-ci n'est qu'un effet de la polarisation des métaux.
ner avait démontré effectivement, par des mesures très-
es, dans son bel ouvrage publié en 1831 [2], que dans un
it voltaïque fermé où se trouve un électrolyte, mais sans
ies intermédiaires, la résistance totale est toujours plus
de que ne le sont les résistances du métal et du liquide
s ensemble, ce qui prouve l'existence de la résistance au
ge; mais il n'avait pas examiné la cause de cette résistance,
s'était borné à la signaler comme nous l'avions fait M. Ma-
ni et moi en indiquant les circonstances qui la font varier,
que la nature des métaux et des liquides, et telles encore
la grandeur de la surface métallique immergée dans le li-
e et la force du courant, deux influences qui sont en rap-

suffit, par exemple, comme Matteucci l'a remarqué le premier, de placer
mes de platine bien propres, l'une dans de l'oxygène, l'autre dans de l'hy-
ne, pour obtenir, en plongeant ensuite les deux lames dans de l'eau acidu-
n courant très-prononcé.

[2] *Messbestimmungen über die Galvanische-Kette.* Leipzig, 1831.

port inverse avec elle. Il est vrai que Fechner, répond tard aux observations de Ohm, avait cru pouvoir établir considérations tirées de ce que la résistance au passage q dans la pile change avec le temps et de ce qu'elle croît ment à mesure que l'intensité du courant diminue, la oc qu'il existe, indépendamment de l'effet dû à la polarisa résistance positive pour le courant quand il traverse de teurs alternativement liquides et solides. Mais ce genr ments n'est point concluant, parce que l'effet de la pol des électrodes étant essentiellement de créer un courant à celui qui est transmis et de diminuer par là l'intensité nier, il faudrait, pour pouvoir apprécier exactement l' de cette polarisation, connaître le rapport exact qui ex le courant secondaire auquel elle donne naissance et l primitif qui l'a produite elle-même; et ce rapport n'est p ou du moins ne peut être déterminé d'une manière pr

La seule manière de résoudre la question est de d qu'il n'y a pas de résistance au passage quand il n'y polarisation des électrodes. Or, pour obtenir cette al polarisation tout en transmettant le courant à trave trolyte, il faut se servir de courants instantanés, d'ég sité, dirigés alternativement en sens contraire et se assez rapidement pour que la polarisation que détermi mier soit annulée par la polarisation inverse que produ vant : que, par exemple, l'oxygène et l'hydrogèn alternativement par l'électrolyse de l'eau sur la surfa lique se succèdent assez rapidement pour se recomb se dégager à l'état gazeux ou sans rester adhérents au

J'avais le premier signalé un fait qui indiquait la p de cette neutralisation des polarisations en faisant courants d'induction alternatifs produits par une m Saxton, et en les transmettant à travers une solution ac dans le circuit au moyen de deux lames de platine d'un égale à celle de la section du liquide, qui était lui-mê dans une auge prismatique de 4 centimètres carrés d sur 10 cent. de longueur. Non-seulement on n'apercev dégagement gazeux sur les électrodes, mais en plaçan

ragme au milieu du liquide une lame de platine, on ne
nait pas l'intensité des courants transmis, et quoique
lame reçût successivement sur chacune de ses faces l'oxy-
t l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau, on
vait apparaître aucun gaz. L'intensité des courants était
ée par un voltamètre calorifique mis dans le circuit, soit
e d'un thermomètre de Bréguet[1], soit un fil fin de platine
aversait la boule d'un thermoscope à air.
gendorff et Vorsellmann de Heer, en répétant et variant
xpériences, étaient parvenus à des résultats contradic-
, le premier ayant cru trouver une résistance au passage
ndante de la polarisation des électrodes et le second
t vu disparaître dès que cette polarisation n'existait
Tous les deux faisaient usage des courants d'induction
its par la machine de Saxton. M. Poggendorff mesurait
sité des courants au moyen de deux thermomètres à air,
la boule, plus grosse dans l'un que dans l'autre, était
ée dans chacun par un fil fin de platine; il plaçait un
agme métallique au milieu d'une caisse rectangulaire
e du liquide conducteur, de façon que les deux parties du
séparées par le diaphragme ne pussent point communi-
ntre elles; enfin il mesurait la résistance que le courant
ait par l'interposition du diaphragme en la comparant
d'un fil d'argentane de 0,20 millimètre de diamètre.
ns que M. Poggendorff avait soin de faire tourner la
e de Saxton toujours avec la même vitesse, de manière
15 courants alternatifs par seconde. Un grand nombre
riences faites avec des lames de platine, de cuivre et de
cées dans les mêmes circonstances, tantôt dans l'acide
que étendu, tantôt dans une dissolution d'hydrochlo-
soude, lui avaient donné pour le platine une résistance
ne double que pour le cuivre, et plus que quadruple
ur le fer. M. Poggendorff remarque qu'indépendam-
le la nature du liquide et du métal, l'état de la sur-
e ce dernier influe d'une manière très-notable sur la

e I, figure 21.

résistance au passage, aussi bien que l'élévation de température qui la diminue d'une quantité très-considérable; cette diminution ne doit point être confondue avec celle que la chaleur produit dans la résistance de conductibilité du liquide lui-même, qui, ainsi que Ohm l'a démontré, est indépendante des électrodes. Ainsi, avec un diaphragme de platine dans l'acide sulfurique étendu à la température de 17°, le voltamètre calorifique s'élevait de 74 divisions, et il s'élevait de 110 divisions environ quand la température du liquide était portée de 75 à 90°. Si la température du métal est portée jusqu'au rouge, comme dans l'expérience bien connue de Leidenfrost, alors aucun courant n'est transmis, preuve qu'il n'y a pas contact entre le liquide et le métal.

M. Vorsellmann de Heer, pour montrer que la résistance du passage tient à la polarisation des électrodes, se servait de deux galvanomètres, dont l'un, moins sensible, mesurait le courant direct transmis, et l'autre, plus délicat, le courant provenant de la polarisation des électrodes. Or l'intensité de l'un de ces deux courants était inverse de celle de l'autre, preuve donc que la polarisation était la cause qui diminuait le courant principal, et qui produisait par conséquent la résistance au passage. M. Vorsellmann n'employait qu'un seul courant instantané toujours de même intensité, savoir celui qui était produit par une demi-révolution de l'armure de la machine de Saxton, circonstance qui lui permettait de se servir du galvanomètre magnétique pour le mesurer; les électrodes étaient des lames de platine, de cuivre ou de fer bien homogènes, et le liquide de l'eau aiguisée par un peu d'acide sulfurique.

Lenz, qui ne faisait également usage que d'un seul courant instantané, avait toujours trouvé une résistance au passage, ce qui n'est pas étonnant, puisqu'il déterminait toujours ainsi une polarisation des électrodes. Quand on veut démontrer qu'il n'y a pas de résistance au passage proprement dite, il faut parvenir à l'annuler en éloignant les causes qui lui donnent naissance, ou du moins à l'atténuer en diminuant l'effet de ces causes. C'est ce que j'étais parvenu à faire avant même les recherches de MM. Poggendorff et Vorsellmann de

en me servant, au lieu de courants instantanés ou de
ıts continus, d'une série de courants dirigés alterna-
:nt en sens contraire. Je produisais ces courants non-
ment au moyen de l'appareil d'induction de Saxton,
ıussi en rendant instantanés et alternatifs, au moyen de
es rhéotomes ou commutateurs que j'ai décrits dans le
e premier [1], les courants produits par une pile de Daniell
couples. Je me suis d'abord assuré, en plaçant dans le
ı une capsule de platine contenant une couche d'acide
ne concentré de 1 à 2 centimètres d'épaisseur, dont la
e supérieure était en contact avec un disque également
tine, que les courants discontinus et alternatifs étaient
its aussi bien, soit qu'ils traversassent la couche d'acide
ne, soit qu'en mettant en contact la capsule et le disque
tine, on ne les obligeât pas de traverser cette couche. Il
tait plus de même quand les courants étaient dirigés
ans le même sens, preuve que la diminution d'intensité
éprouvaient dans ce dernier cas était due à la polarisa-
les deux surfaces de platine. Le voltamètre calorifique
je me servais dans cette expérience était peu sensible;
:lui qui est fondé sur la mesure de la dilatation éprouvée
n fil de platine que traverse le courant [2]. Avec ce même
ètre et deux lames de platine de 49 centimètres car-
ı surface, plongées à 1 centimètre de distance l'une de
: dans de l'acide sulfurique étendu de neuf fois son
e d'eau, j'ai constaté que lorsque le courant était con-
t qu'il se dégageait des gaz sur les deux lames, l'ins-
nt marchait de 0° à 17°, et qu'il marchait à 20° dès
commutateur placé dans le circuit étant mis en mou-
t le courant était rendu discontinu et alternatif. Par
, si, remplaçant dans le circuit le conducteur liquide
n fil de platine d'une résistance à peu près égale, de
que le voltamètre marchât de 0° à 20° par l'effet du cou-
ontinu, je rendais ce courant discontinu et alternatif,
ment n'indiquait plus que 17°. Ainsi cette dernière

me I, pages 298 et 402.
me I, page 30, fig. 18.

forme diminue en fait l'effet du courant, et si elle l'a augmenté quand il y a un conducteur liquide dans le circuit, c'est qu'elle annule ou diminue la résistance au passage. Voici, du reste, les résultats des expériences faites avec des diaphragmes de différents métaux placés verticalement dans une auge en verre longue de 15 centimètres, large et haute de 3, de manière à diviser le conducteur liquide (acide sulfurique étendu de neuf fois son volume) en deux, trois ou quatre compartiments sans aucune communication directe entre eux; le liquide était mis dans le circuit au moyen de deux lames de platine placées aux extrémités de l'auge. Le voltamètre calorifique est ici un thermoscope à air, dont la boule, placée au haut du tube, est traversée par un fil fin de platine; il porte une division arbitraire en millimètres qui va de bas en haut.

	Courant continu.	Courant alternatif.
Avec un diaphragme de *platine*. . .	68mm	54mm
Sans diaphragme.	48	48
Différence. . .	20	6
Avec trois diaphragmes de *cuivre*. . .	144	128
Sans diaphragme.	133	126
Différence. . .	11	2
Avec trois diaphragmes d'*étain*. . .	127	106
Sans diaphragme.	115	106
Différence. . .	12	0

Ainsi, pour chaque espèce de diaphragme la résistance au passage est beaucoup moindre avec les courants alternatifs qu'avec les courants continus, et elle finit par devenir nulle avec des diaphragmes d'étain. On peut l'annuler également avec les diaphragmes de cuivre quand ceux-ci ont déjà servi à plusieurs expériences semblables, leurs surfaces présentant alors un aspect pulvérulent qui annonce qu'elles ont éprouvé une série d'oxydations et de réductions. On réussit à la rendre presque insensible avec des diaphragmes de platine, en se servant d'une solution d'hydrochlorate d'ammoniaque, qui fait que le platine est alternativement attaqué et réduit par l'acide hydrochlorique. On obtient le même résultat avec l'acide sulfurique étendu, quand on emploie pour électrodes la capsule et le dis-

platine dont j'ai parlé plus haut. En interposant entre apsule et ce disque une capsule d'un diamètre moindre, modifie en rien l'intensité des courants alternatifs, qui ansmis également bien, que la capsule y soit ou n'y soit u'elle soit en platine, en cuivre ou en étain. Toutefois, ultat ne s'obtient avec la capsule de platine que lorsque ience a déjà duré un temps suffisant pour modifier sa , tandis qu'avec les deux autres il a lieu immédiatement. r bien réussir dans ces dernières expériences, il faut em- la machine de Saxton, parce qu'on peut faire succéder pidement les uns aux autres les courants dirigés alter- ment en sens contraire ; ainsi dans mes dernières expé- il y en avait 40 au moins par seconde ; dans les pre- , il n'y en avait que 27, et il n'est pas étonnant que dans de Poggendorff, où il n'y en avait que 15, la résistance sage n'ait jamais été complétement annulée.

t évident, d'après ce qui précède, que ce qui produit la nce au passage d'un conducteur solide dans un liquide, dépôt sur la surface métallique de l'électrode, des sub- étrangères provenant de l'électrolyse, soit que la résis- due à ce dépôt soit uniquement *passive* par l'effet de la bonne communication entre le liquide et le métal, soit soit aussi *active* par la création d'un courant contraire polarisation des surfaces métalliques. En tout cas, pour r la résistance au passage, il faut empêcher le dépôt de er ou le détruire aussitôt formé. C'est ce qu'on fait avec rants alternatifs qui, se succédant très-rapidement, ap- successivement l'oxygène et l'hydrogène sur la même dans un intervalle de temps assez court pour qu'ils se ent avant de se dégager. Toutefois, l'aspect des surfaces ques qui ont transmis un peu longtemps ces courants qu'il n'y a pas eu simplement dépôt d'oxygène, mais on suivie immédiatement d'une réduction par l'hydro- e platine lui-même finit par se recouvrir d'une poudre ui est du platine très-divisé, dont la production ne peut quer que par une série d'oxydations et de réductions à éprouver ce métal. Nous verrons qu'effectivement

l'oxygène peut, à l'état naissant, devenir capable de se biner directement au platine[1].

On n'obtient pas toujours la disparition du dépôt av courants alternatifs, et on peut quelquefois l'obtenir av courants continus. Ainsi, comme exemple du premier c citerai le plomb, qui, employé comme diaphragme, se re avec les courants alternatifs, sur ses deux faces, d'une d'oxyde blanc qui n'est pas réduite, tandis que cette cou se forme que sur une seule face quand le courant est co d'où résulte que, contrairement à ce qui se passe avec les diaphragmes, le courant est moins affaibli par la la plomb interposée, quand il est continu que quand il est tinu et alternatif. Comme exemple du second cas, je l'acide nitrique, qui en contact avec l'électrode négatif tine y rend la résistance au passage tout à fait nulle, pêchant sur la surface de platine le dépôt de l'hydrogè absorbe à mesure qu'il s'en produit en se convertissant nitreux. Je citerai encore le fait que j'ai déjà signalé premier chapitre de cette quatrième partie, qu'il suf chauffer ou d'ébranler l'électrode négatif en platine, dans une dissolution acide, pour atténuer notablement sistance au passage même par un courant continu. M s'est assuré par des expériences directes que ce réchauffe cet ébranlement diminuent proportionnellement plus la sation de l'électrode négatif que celle du positif, surtout q courant a peu d'intensité, cas dans lequel se manifeste fac l'influence prépondérante de l'ébranlement et de l'échau de l'électrode négatif sur la facilité du courant à être tr

Le rôle que joue le platine comme électrode est très quable, car, quoiqu'il passe pour non oxydable, nous le

[1] On observe également la formation de la poudre noire de platine, a transmis longtemps de suite un fort courant à travers un voltamètre ou à fils de platine, chargé avec de l'acide sulfurique étendu de neuf fo lume d'eau. Cette poudre se dépose au fond du vase, et provient ev d'une série d'oxydations et de réductions qu'éprouve la surface de l'élec gatif sous l'influence alternative de l'oxygène dissous dans le liquide drogène qui se dégage.

·e comme les métaux qui le sont, mais à un faible de-
i la poudre noire qui se forme sur les fils de platine
·rvi longtemps d'électrodes aux courants alternatifs,
solution d'acide nitrique ou sulfurique, indique que
t éprouvé une série d'oxydations et de réductions, ce
·e du reste l'état de leur surface quand on a enlevé
lre, qui de polie qu'elle était est devenue couverte de
L'or et le palladium présentent le même phénomène
tine, mais plus promptement; l'or se recouvre d'une
verdâtre, le palladium d'une couche d'un bleu noi-
couches sont également formées par le métal pur,
divisé, car le brunissoir leur rend, comme à la poudre
latine, l'éclat métallique, et introduites dans le mé-
losif, les trois poudres le font détonner également; il
ment pour celle d'or élever la température à 50°.
s fils de platine comme pour les fils d'or, la quantité
gagée va en diminuant à mesure que la couche pul-
se forme, et en même temps le courant transmis
d'intensité, comme le montrent les indications des
·s calorifiques. Ainsi, avec des fils de platine dans de
ilée à un dixième, au bout d'une minute l'hélice du volta-
rquait 27° et le gaz dégagé était de 7cc, et au bout de
s l'hélice marquait 40° et le gaz dégagé était en tout
nviron, et seulement de 1 cc. dans la dix-septième mi-
fils étaient alors entièrement recouverts de la poudre
mélange gazeux détonnait sans laisser aucun résidu,
e l'oxygène et l'hydrogène s'y trouvaient dans les pro-
ni forment l'eau. Avec les fils d'or, il y a quelquefois
étonation un léger résidu d'hydrogène, ce qui tient à
r s'est légèrement oxydé; ce fait explique pourquoi les
passent un peu plus facilement, ainsi que le prouve
n de l'hélice du voltamètre, qui au bout de dix mi-
rque déjà 46°.
de la surface du platine influe sur sa facilité à être
e. Des fils de 18 centimètres de longueur et même

, figure 21, page 31.

de 33, soit droits, soit tournés en hélice, se recouvr
promptement de la poudre noire quand, plongés dan
un dixième d'acide sulfurique, ils servent d'électrodes à
rants d'induction se succédant à raison de 40 par minu
ration est beaucoup plus longue et plus difficile pour l
et les gaz se recombinent à leur surface longtemps avai
voie des traces de platine divisé. Avec de l'éponge de pl
vant d'électrodes il n'y a jamais dégagement gazeux,
pérature du voltamètre calorifique mis dans le circ
plus élevée ; en général, cette température atteint son
dans tous les cas, dès qu'il n'y a plus développement
L'échauffement du liquide qui augmente l'intensité du
quand, les fils n'étant pas encore noircis, il y a prod
gaz, n'exerce presque point d'influence quand, la co
étant formée, tout dégagement gazeux disparaît.

La propriété que nous venons de reconnaître dans
de déterminer la combinaison des gaz provenant de
lyse à mesure qu'ils se dégagent alternativement à s
doit être évidemment la même que celle en vertu de l
métal fait détonner, en y étant introduit, un mélan
gène et d'hydrogène fait dans les proportions qui c
l'eau, ainsi que l'a découvert Doebereiner. Remarquo
que les conditions qui rendent le platine susceptible
mer le mélange détonnant sont aussi les mêmes que
favorisent sa désagrégation dans l'électrolyse, savoir
sur la surface de toute matière étrangère quelconque,
sités qu'elle présente, etc. Faraday a même remarq
seul fait d'avoir servi d'électrode dans une solution
une lame de platine éminemment propre à détermin
binaison de l'oxygène et de l'hydrogène. Ce n'est pa
preuve que dans l'expérience de Doebereiner il y a u
sion d'oxydations et de réductions alternatives, c'est
de platine bien décapé et tourné en hélice, employé a
ponge de platine pour enflammer l'hydrogène dans l'

[1] Il ne faut pas confondre la température du voltamètre calorifiq
le circuit, avec celle du liquide décomposé, qui en est tout à fait indé

t une surface pulvérulente grisâtre, qui est due à la désa-
tion du métal. Pour faciliter l'opération, il faut chauffer
ment le fil de platine en le faisant traverser par un cou-
lectrique d'une faible intensité, et diriger sur l'hélice un
at d'hydrogène mêlé avec de l'air atmosphérique au
d'un robinet à double issue. On observe la même désa-
tion dans un fil de platine qui a servi à la lampe aphlogis-
de Davy. Il suffit alors de rouler en hélice un fil de platine
millimètre de diamètre et de le placer sur une lampe à
après l'avoir lavé avec soin d'abord dans de l'acide nitri-
ensuite à plusieurs reprises dans l'eau distillée et l'avoir
à l'abri de la poussière. O allume la lampe de manière
fil rougisse, et lorsqu'il e rouge, on éteint la flamme,
le alors incandescent par l'effet de la vapeur d'alcool. Si
it durer l'expérience 24 et même 48 heures, le fil qui
parfaitement uni présente, au bout de ce temps, une sur-
ulvérulente due au platine désagrégé, preuve que le phé-
ne de la lampe aphlogistique consiste aussi dans une série
ations et de réductions dues à l'action alternative de
ène de l'air et de la vapeur d'alcool. J'ai beaucoup varié
xpérience : j'ai employé de l'alcool très-pur, des mèches
nte au lieu de mèches de coton, j'ai toujours observé le
résultat. J'ai remarqué, en outre, que les fils dont la
est ainsi désagrégée sont beaucoup supérieurs aux au-
our faire réussir l'expérience de la lampe aphlogistique.
phénomènes que présente le platine sont, aussi bien dans
que dans celui de l'électrolyse, tout à fait semblables à
ui ont lieu avec les autres métaux plus ou moins oxyda-
ls que l'or, l'argent et le cuivre, quand ils sont exposés
on de la flamme d'une lampe à alcool, phénomènes que
sur Henry a si bien étudiés. Ces métaux, et surtout le
, se réduisent bien vite en poussière par la succession
ations et de réductions alternatives qu'ils éprouvent [1].

[1] diverses décompositions et combin ons que détermine le platine, surtout
d'éponge, et qu'on a attribuées à la orce catalytique, celles en particulier
uvées M. Kulhm t pouvoir s'expliquer très-facilement en

Revenons maintenant aux phénomènes d'électroly ment dits, et voyons comment la propriété que nous reconnaître et d'étudier dans le platine, pourra n compte d'anomalies qui ont fait croire à plusieurs que les lois qui régissent les décompositions chimiq en défaut, et par conséquent n'étaient pas générales.

Fig. 241.

J'avais fait une série d'expérienc quelles je m'étais servi pour électrod et de fils de platine parfaitement pu de dimensions différentes, et com électrolytique d'acide sulfurique trè du de neuf fois son volume d'eau ac lames de platine étaient décapées sui cédé indiqué par Faraday, qui co faire rougir et à les frotter avec un potasse, pendant qu'elles sont incandescentes, puis ger dans de l'acide sulfurique bouillant et à les la dans de l'eau distillée constamn velée. Les fils de platine étaient même et insérés dans des tubes més à la lampe (fig. 241), de n présenter qu'une très-petite sur tact avec le liquide. La lame é en spirale et placée sous un t rempli d'eau acidulée et destiné tout le gaz dégagé; le fil était int un tube semblable, plongé dan liquide; les communications d du fil avec les pôles respectifs étaient établies au moyen de fil recouverts de tubes de verre, d ne pas avoir de points de contact avec le liquide (fig

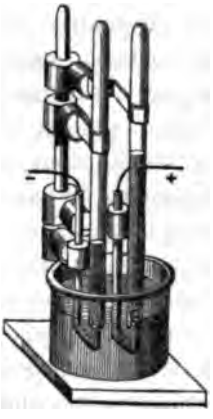


Fig. 242.

Voici le résultat de quelques-unes de ces expérien

admettant une oxydation du platine immédiatement suivie de sa ré peut en effet obtenir ces divers phénomènes qu'autant que l'oxyg sous une forme ou sous une autre.

Lame négative.	100cc	d'hydrogène.
Fil positif.	50	d'oxygène.
Fil négatif.	41cc	d'hydrogène.
Lame.	16	d'oxygène.

Il manque 4 cc. ½ d'oxygène qui ont été pris par la lame; dans l'expérience suivante, la lame a été mise immédiatement en communication avec le pôle positif avant de l'avoir été avec le négatif.

Fil négatif.	20cc	d'hydrogène.
Lame positive.	8	d'oxygène.

Manquent 2 cc. d'oxygène pris par la lame. On a changé les pôles :

Lame négative.	15cc ½	d'hydrogène.
Fil positif.	10	d'oxygène.

Manquent 4 cc. ½ d'hydrogène, c'est-à-dire un peu plus du double, et par conséquent l'équivalent environ de l'oxygène qui avait disparu.

Voici encore une expérience dans laquelle la lame, après avoir été fortement décapée, a été mise en communication d'abord avec le pôle positif :

Fil négatif.	20cc	d'hydrogène.
Lame positive.	6	d'oxygène.

Manquent 4cc. d'oxygène. En changeant les pôles :

Lame négative.	14cc	d'hydrogène.
Fil positif.	10	d'oxygène.

Manquent 6 cc. d'hydrogène ; il aurait dû en manquer 8 pour représenter l'équivalent de l'oxygène qui avait été pris par la lame dans l'expérience précédente. En général, il est rare qu'on retrouve tout l'oxygène qu'a pris la lame, soit parce que le liquide en dissout, soit parce qu'il se forme aussi de l'eau oxygénée, comme nous allons le voir. L'oxygène qu'on retrouve et qui est l'équivalent de l'hydrogène manquant, est celui qui est resté à la surface du platine.

De l'éponge de platine et un long fil de platine recouverts de

la poudre noire se conduisent comme la lame décapé
dire qu'ils absorbent une forte proportion d'oxygène. l
expériences successives, le long fil de platine ne d
5 mesures d'oxygène contre 20 d'hydrogène déga
court; il manquait donc 5 cc. d'oxygène; on en retr
changeant les pôles, car on n'eut plus alors que 12 l
contre 10 oxygène, preuve que 8 hydrogène avaient été
Quelquefois il semblerait qu'une petite portion de l'oxy
tine se dissout, quand la surface du platine sur l
se forme est pulvérulente ou quand l'acide est con
bouillant.

Nous avons dit qu'une portion du gaz se dissou
liquide électrolytique, mais cette dissolution est loin
cause des altérations dans les proportions des gaz dé
effet, quand deux électrodes en platine ne changent p
et continuent à être toujours l'un l'électrode positif,
négatif, on trouve, après qu'on a fait le départ de l'oxy
est absorbé par le premier en commençant, que les ga
par se dégager dans les proportions qui constituent l
même qu'on renouvelle autour de la surface des deu
le liquide électrolytique. D'ailleurs les polarités se
qu'acquièrent les lames de platine, et qu'elles conserver
en étant transportées dans un autre liquide, sont u
que les gaz sont restés adhérents à leur surface,
l'oxygène, car il se pourrait que la propriété qu'acquie
négative tînt moins au gaz resté adhérent à sa su
l'état de pureté auquel l'a amené le dégagement d'h
qui s'y est opéré. C'est ce que nous verrons quand n
occuperons dans l'étude des sources de l'électricité,
rants produits par les polarités secondaires. Quant
rence de l'oxygène, nous avons vu qu'elle ne peut êtr
ment physique, comme quelques physiciens l'ont ad
que c'est bien un phénomène d'oxydation superficiel
la chimie nous en présente un si grand nombre, pui
pourrait expliquer la désagrégation du métal, s'il ne
pas une série d'oxydations et de réductions. D'aille
verrons plus loin que dans ces cas l'oxygène est dan

ılier qui le rend plus susceptible d'attaquer le platine[1]. détails dans lesquels nous venons d'entrer nous permet- ıaintenant d'expliquer les nombreuses anomalies qu'a tées à plusieurs physiciens l'emploi des voltamètres à et à fils de platine. Faraday avait déjà signalé les erreurs pouvait commettre en se servant de cet instrument et les ıtions à prendre pour les éviter. Plus tard, M. Gassiott érents essais avec trois voltamètres dont les électrodes : des fils et des lames de platine de dimensions différentes il remplissait soit d'eau distillée, soit d'une dissolution : sulfurique. En les mettant à la suite les uns des autres e circuit, il remarqua que celui à fils courts donnait tou- ıne proportion de gaz un peu plus forte que les deux au- . Poggendorff, pour recueillir les gaz séparément et pour trop diminuer en même temps la force du courant en ant les tubes de verre qui les recueillent dans le liquide lytique, avait imaginé un voltamètre dans lequel les

ichœnbein en effet a soutenu qu'il n'y avait oxydation ni du platine ni de s qu'il y avait simplement adhérence de l'oxygène à la surface du métal. nit son opinion sur ce que l'apparence du métal ne change pas, sur ce ord qu'une fraction de son poids hors de proportion avec celle qu'il de- être quand on enlève la couche supposée d'oxyde. Enfin il expliqua la ation des électrodes par un transport mécanique de particules analogues ıı a lieu dans l'expérience des pointes de charbon. A ces objections on ondre d'abord qu'il n'y a pas de transport de particules, puisqu'en pre- r électrodes un fil d'or et un fil de platine, on ne trouve jamais l'or di- sur le fil d'or, et le platine divisé que sur le fil de platine. D'ailleurs itions favorables à la production de la couche pulvérulente sont préci- inverses de celles qu'exigerait la désagrégation physique, c'est-à-dire r de décomposition du liquide et une forte tension électrique. Quant à ace du métal oxydé, il est vrai, surtout quand il s'agit du platine, qu'elle ıs de celle du métal pur, mais il en est de même de bien d'autres mé- ınd il ne s'agit que d'une couche superficielle de sous-oxyde qui, pour ıx blancs surtout, ne fait que ternir leur surface. Enfin il est bien re- le tous les chimistes que leurs creusets de platine finissent par être al- r l'action des acides sulfurique et nitrique bouillants. On peut même voir, ıt un morceau d'éponge de platine quelques jours dans un flacon rempli nitrique parfaitement pur et hermétiquement bouché, cet acide prendre leur qui annonce la présence de l'acide nitreux, et par conséquent l'oxyda- platine aux dépı l'oxygène de l'acide nitrique.

deux tubes gradués qui recueillent l'un l'oxygène et l'
section double, l'hydrogène, sont prolongés au bas
cylindre d'argile poreux; les deux cylindres sont fi
ticalement au fond d'un vase en verre rempli de l'eau
et les électrodes en platine sont scellés au fond du
manière à pénétrer, l'un dans un des cylindres poreu
dans l'autre; et ils ressortent extérieurement pour
en communication avec les pôles de la pile. De cette
non-seulement on empêche les gaz de se mélanger,
évite aussi le mélange des liquides qui, en contact av
des électrodes, tiennent plus ou moins en dissolution
tion de l'hydrogène et surtout de l'oxygène, et il n'y a
de recomposition entre ces deux gaz.

Cette dernière précaution est d'autant plus néces
M. Jacobi a remarqué, en effet, que la recompositio
mélangés a lieu lors même que les électrodes de plati
passent pas le liquide, dès qu'il y a au-dessus d'eu
rempli du mélange gazeux qui se dissout probablem
sure que celui qui est déjà dissous disparaît sous l'infl
platine pour reformer de l'eau. Si les acides employés
purs et les électrodes parfaitement nets, au bout de
heures la combinaison est entièrement opérée et il
point de gaz; la recomposition a lieu encore plus ra
quand la surface du platine est pulvérulente.

La température paraît diminuer cette facilité des
gés dans les voltamètres à se combiner; c'est ce qui
pourquoi M. Soret, en prenant deux voltamètres pa
semblables mis à la suite l'un de l'autre pendant
temps dans le même circuit, mais l'un demeuré froid
chauffé dans une étuve à vapeur bouillante, a con
trouvé que le chauffé dégageait une proportion d
peu plus forte. Dès qu'on la laisse refroidir la
disparaît; celle-ci a constamment été de 2,5 pour
ces expériences le voltamètre froid était maintenu
mélange de glace et de sel marin. M. Soret déte
proportion du mélange gazeux, soit en le mesuran
ment, soit en dosant l'hydrogène comme dans une ana

, et par les deux procédés il est arrivé au même résultat. lifférence que nous venons de signaler peut tenir à deux : d'abord à ce que l'oxygène, dégagé à une basse tempéra- e combine plus facilement avec l'hydrogène, ce qui fait recomposition des gaz est plus forte; ensuite à une for- ı de bioxyde d'hydrogène qui n'a pas lieu à une tempé- evée. M. Meidinger a en effet observé, en employant pour des des lames de platine de 40 millimètres de longueur de largeur et une dissolution d'acide sulfurique de 1,3 de , que la proportion d'oxygène dégagée est inférieure à 'hydrogène à la température ordinaire, et lui est légère- supérieure à une température élevée. Cette influence de pérature est d'autant plus marquée que le courant élec- est plus intense. L'hydrogène reste en général assez ıt, aussi bien quand on étend plus ou moins la dissolution que lorsque l'on fait varier sa température; c'est la té d'oxygène qui est généralement d'autant moindre que olution est plus concentrée et plus froide. M. Meidinger onclu de ces diverses observations qu'il se forme dans olyse de l'eau acidulée, du bioxyde d'hydrogène à l'élec- positif. Cette conclusion se trouve confirmée par le fait dissolution acide acquiert la propriété de décomposer e de potassium, propriété que possède l'eau oxygénée, que par la faculté que possède l'électrode positif de déga- l'oxygène pur quand, après avoir fait durer longtemps mposition de l'acide étendu, on laisse cet électrode dans ide, mais qu'il perd dès qu'on le transporte dans un autre e. Or, comme on sait que le platine qui a servi d'élec- positif pour décomposer l'eau acidulée, décompose l'eau sée par son contact avec elle, cette expérience est une de la présence de ce composé dans le liquide. On peut, ite, encore la constater en chauffant l'eau acidulée; on ors se produire un dégagement abondant d'oxygène pro- de la décomposition de l'eau oxygénée, et cette eau perd la propriété de réagir sur l'iodure de potassium. M. Mei- a remarqué encore que l'eau oxygénée, en se répandant e liquide él t lytique, peut réagir sur l'hydrogène

dégagé à l'électrode négatif, surtout lorsque cet électrod grande surface. Ainsi deux voltamètres identiques ay remplis l'un d'eau acidulée parfaitement pure, l'aut électrolysée, c'est-à-dire chargée d'eau oxygénée, on n' que 234 centimètres cubes d'hydrogène dans le secon mètre, tandis qu'il y en avait 240 dans le premier. d'introduire la lame de platine qui a servi d'électrod dans le liquide du tube où l'hydrogène s'est dégagé, p peu à peu le volume du gaz diminuer par suite de qu'exerce sur lui, sous l'influence du platine, l'eau formée pendant l'électrolyse. Ajoutons qu'une basse ture et une petite dimension de l'électrode positif fav formation de l'eau oxygénée.

Il résulte de l'analyse que nous venons de faire, et culier du travail de M. Meidinger, que pour obtenir d tats exacts avec le voltamètre, il faut mesurer l'hydro venant de l'électrolyse et non l'oxygène ou le mélange qu'il faut se servir, surtout pour dégager l'hydrogèn trodes à petites surfaces ; qu'il faut avoir soin de chan acidulée du voltamètre après chaque expérience, ou de la chauffer pour la débarrasser de toute l'eau qu'elle peut renfermer.

Sans nous arrêter à d'autres expériences du mêm nous nous bornerons à rapporter encore celles par l M. Despretz en opérant sur une grande échelle avec d mètres à fils de platine et de l'eau, soit distillée, soit à divers degrés avec l'acide sulfurique, a trouvé que tité de gaz dégagée dans chacun était, à moins d'un près, toujours la même quand ils étaient placés dans circuit pendant le même temps. Les voltamètres dont pretz faisait usage avaient pour électrodes des fils de pla cés à 12 millimètres de distance l'un de l'autre ; il av mencé par en remplir trois d'eau acidulée à $\frac{1}{10}$, à $\frac{1}{2}$ d'acide sulfurique. Dans 8 minutes il obtint dans cha 12 couples de Bunzen 18cc. de gaz. En remplaçant l renfermait $\frac{1}{100}$ d'acide sulfurique par de l'eau distillée, il 300 couples de Bunzen 14cc.8 dans chaque voltamètre, s

i rempli d'eau distillée, où il eut un volume un peu plus con-
ble. La moyenne de quatre expériences faites seulement
deux voltamètres remplis, l'un d'eau pure, l'autre d'eau aci-
, lui donna en 45 minutes 10cc·19 dans l'eau pure et 10cc·09
l'eau acidulée. Il est vrai que la température de l'eau dis-
s'élève considérablement, même jusqu'à 20 fois plus que
de l'eau qui ne renferme que $\frac{1}{1000}$ d'acide sulfurique. C'est
i explique pourquoi le volume gazeux y est légèrement
onsidérable, les gaz ne pouvant s'y dissoudre aussi facile-
. Du reste, la décomposition de l'eau distillée présente
es caractères particuliers; toute l'eau (plus d'un litre
les expériences de M. Despretz) devient mousseuse et blan-
, ce qui tient à la grande dissémination des molécules
ses, tandis que l'eau acidulée à $\frac{1}{1000}$ aussi bien qu'à $\frac{1}{10}$
complétement transparente, et le dégagement du gaz ne
nifeste qu'à l'extrémité des fils, sous forme d'un cercle de
. Cette différence remarquable tient à ce que la grande
nce que le courant rencontre dans sa transmission à tra-
'eau pure, l'oblige dans ce cas de se disséminer et à pas-
r tous les points de contact de la surface du fil et du
e.

i qu'il en soit, on voit donc qu'en tenant compte de toutes
uses qui peuvent troubler la manifestation de la loi de Fa-
et en cherchant à les éviter, cette loi est encore trouvée
dans la décomposition de l'eau pure comme dans celle
au acidulée et dans la décomposition des solutions sa-

Foucault avait cru trouver une preuve de l'existence de la conductibilité
e des liquides dans le fait que de deux voltamètres à lames de platine,
s le même circuit, et chargés l'un avec de l'eau distillée, l'autre avec de
mode de $\frac{1}{10}$ d'acide sulfurique, le premier, dans le même temps, ne don-
1 centimètre cube de gaz, et le second 10. Mais cette différence, en tout
coup trop grande, tient à ce que les électrodes étaient formées dans cha-
mètre d'un faisceau de lames de platine bien dressées, maintenues à une
de millimètre les unes des autres, et constituées par un arrangement des
ure, alternativement dans des états électriques opposés. Il résultait
disposition d'abord que l'oxygène et l'hydrogène, très-rapprochés au
de leur dégage devaient se recombiner l'un avec l'autre, d'autant

Nous avons vu que l'affinité chimique de la substance dont sont faits les électrodes pour l'un ou l'autre des éléments de l'électrolyte peut faciliter sa décomposition, et par conséquent le passage du courant. Cette propriété a été appliquée avec beaucoup de succès par M. Becquerel à la production de composés divers résultant de la combinaison de l'électrode avec l'un des éléments dégagés par le courant, composés qu'il a réussi à obtenir à l'état cristallin en n'employant que de très-petites forces électriques, c'est-à-dire celle d'un seul couple. Il a également obtenu des produits secondaires très-remarquables en se servant d'électrodes composés et en déterminant la combinaison de l'élément dégagé par le courant, avec l'un des éléments de cet électrode composé. En un mot, il a mis à contribution les réactions chimiques que peut faire naître le dégagement par le courant d'un corps à l'état naissant sur la surface de contact d'un solide et d'un liquide.

Ce n'est pas seulement en employant des électrodes suscep-

plus facilement qu'ils se disséminent sur toute la surface des électrodes dans l'eau distillée, à cause de sa conductibilité imparfaite, comme nous venons de le voir à l'occasion des expériences de M. Despretz. Mais, en outre, cette même conductibilité imparfaite de l'eau, jointe au rapprochement si grand des lames de platine, alternativement positives et négatives, déterminait la plus grande proportion des deux électricités à se réunir entre ces lames sous forme d'arc voltaïque, et non électrolytiquement, comme cela a lieu à travers l'air et les corps liquides non conducteurs. Nous avons vu en effet que M. Despretz, en opérant de manière à éviter ces effets perturbateurs, a trouvé que l'eau distillée obéit, comme l'eau acidulée, à la loi des équivalents de Faraday.

A ces preuves indirectes en faveur de l'opinion que les liquides électrolytiques ne possèdent pas une conductibilité physique analogue à celle des solides, mais qu'ils ne peuvent propager les courants qu'en étant décomposés, il vient s'en ajouter une nouvelle plus directe. M. Faraday ayant constaté la possibilité de déterminer par l'action d'un électro-aimant un courant d'induction dans une longue colonne d'eau acidulée renfermée dans un tube de guttapercha tourné en hélice autour de l'électro-aimant, MM. Logeman et Van-Breda ont observé que les lames ou fils de platine qui perçoivent ce courant sont polarisés, ce qui prouve que l'eau acidulée a été décomposée par le courant induit. Or, si la propagation du courant peut s'opérer dans un liquide électrolytique par voie de conductibilité physique, ce doit être dans le cas d'un courant induit dans le liquide par un courant extérieur, et cependant même dans ce cas la propagation est accompagnée d'une décomposition.

l'entrer en combinaison avec les éléments du liquide ytique ou d'être décomposés par eux qu'on peut faciliter composition. Grove, E. Becquerel et Schœnbein sont ss à obtenir le même résultat tout en conservant des les de platine, mais en dissolvant dans le liquide des ces qui avaient de l'affinité pour l'un ou l'autre de ses ts. Ainsi, Grove a obtenu avec le courant d'un seul cou- décomposition de l'eau en disposant l'électrode positif de de façon que la portion qui sortait de l'eau fût placée tube rempli d'hydrogène qui lui-même était en contact au acidulée électrolysée. La décomposition était facilitée inité que l'hydrogène, sous l'influence du platine, exerce ygène de l'eau. E. Becquerel a réussi de même à décom- eau par un faible courant, en y dissolvant ou des sub- avides d'hydrogène, telles que le chlore, le brôme et du bichlorure de cuivre ou des sels dont les bases peu- suroxyder, tels que du sulfate de peroxyde de fer qui ns cesse à prendre de l'oxygène aux corps qui en ren- t. En mettant dans le même circuit un voltamètre à eau e ordinaire et ces diverses dissolutions, on obtient dans solutions des proportions d'oxygène et d'hydrogène va- avec chacune d'elles et même avec la rapidité de la dé- sition, en conséquence de la facilité plus ou moins grande quelle l'oxygène ou l'hydrogène se combinent avec les nces dissoutes. M. E. Becquerel a trouvé, en employant des s de platine et d'or pour l'un des électrodes, l'autre étant me de platine, que la décomposition était facilitée, mais e grande proportion de gaz était absorbée par celui des des qui était fait avec l'éponge. C'est toujours une consé- des propriétés du platine divisé. M. Schœnbein avait déjà yé l'éponge de platine comme électrode positif pour com- l'oxygène provenant de la décomposition de l'eau conte- ms l'alcool avec cette dernière substance, et former ainsi ddnit plus oxygéné. Il avait également réussi à obtenir décomposition plus facile en se servant pour électrodes né- d'éponges de platine qui avaient été plongées dans du ou du brôme gazeux, et qui exerçaient ainsi une forte

affinité sur l'hydrogène. Le même effet est produit et
un plus haut degré en prenant pour électrode négatif
de platine recouverte d'une couche de peroxyde de pl
l'oxygène se combine avec l'hydrogène dégagé. Tous
et j'en omets beaucoup du même genre, nous montr
port intime qui lie l'affinité chimique ordinaire ave
chimique du courant qui n'est, comme le remarque j
ment Faraday, que la même force transportée à distar
de ne s'exercer qu'au contact. Et en effet, nous voyo
ce qui précède combien son action est facilitée quand
le concours de celle de l'affinité. Nous compléterons
stration de la liaison intime qui existe entre ces de
quand nous nous occuperons de l'action chimique
comme source de l'électricité.

Il est toutefois quelques cas qui semblent faire exc
règle générale que nous venons de poser. C'est celui
métaux qui, employés à un faible degré d'oxydati
électrodes positifs, ne laissent pas passer le courant
fer quand, comme l'a observé Schœnbein, il est à
passif, état dans lequel il n'est plus attaqué par
et se trouve modifié d'une manière très-extraordi
ses propriétés chimiques par l'effet de la présence s
face d'une couche d'un sous-oxyde particulier. T
core le cuivre qui, comme l'a observé M. Grove, s'o
dissout graduellement quand il sert d'électrode po
l'acide sulfurique étendu, à un courant de force moy
qui cesse de se dissoudre et arrête la transmission d
lorsque celui-ci devient très-fort, ce qui tient auss
mation d'un oxyde particulier qui ne peut se com
l'acide. Toutes ces anomalies sont plutôt des phénom
ment chimiques que des phénomènes électro-chimiq
tiennent à l'impossibilité de certains oxydes de se
avec les acides pour former des sels, soit parce qu'ils r
trop d'oxygène, soit parce qu'ils en renferment trop

Mouvements produits dans les liquides électrolytiques par le passage du courant.

mouvements qui sont l'effet du passage du courant à s les liquides électrolytiques sont de deux espèces. Ceux première espèce sont le résultat évident de la décomposi- liquide et de la réaction chimique des éléments séparés; la seconde se manifestent par un transport à travers phragme poreux d'une partie du liquide, et ils semblent tôt un effet mécanique qu'un effet électrolytique. Toute- même dans ce cas, il ne suffit pas que le liquide soit con- r, comme le serait du mercure, il faut qu'il soit également ctrolyte. Nous verrons jusqu'à quel point cette circon- peut éclaircir la nature du phénomène.

y avait le premier observé que des globules de mercure, entre les deux pôles d'une pile au fond d'un vase rempli solution que le courant décompose, s'allongent du côté le négatif en manifestant un tremblement particulier. ell a fait une étude détaillée de ce genre d'action, dont s'était déjà occupé aup ravant, en le rattachant aux ments qui résultent de certains phénomènes chimiques. Nobili a plus tard par de nouvelles recherches, com- les travaux d'Herschell et trouvé la véritable signification ordre de faits.

chell avait placé au fond d'un vase du mercure très- rouvert d'une couche d'acide sulfurique concentré d'un tre environ d'épaisseur, et il transmettait à travers de un courant d'une pile faiblement chargée. Aussitôt courant circule, on voit l'acide éprouver un mouve- rapide de rotation dû à un courant mécanique qui s'éta- re les deux électrodes et qui traverse directement le re; les parties de l'acide contiguës au mercure sont celles mouvent avec le plus de rapidité. C'est dans le mercure ide la cause du mouvement, et on en a la preuve dans qu'il suffit d'humecter avec de l'acide sulfurique la sur- mercure et le vase qui le renferme, pour obtenir un

mouvement très-rapide de rotation de ce métal, e
de cette même couche d'acide pour établir le coura
que lorsque le globule de mercure est d'une gross
rable, il éprouve une tendance continuelle à s'al
rayonner vers le pôle négatif, et lorsqu'il en est
l'atteint et s'amalgame avec lui; s'il est petit, to
se met en mouvement avec une assez grande rapi
si elle était attirée par le fil négatif; cette attractic
est souvent très-énergique, le globule se mouva
grande vivacité vers le fil négatif auquel il adh
vient en contact avec lui. On peut obtenir les mê
remplaçant l'acide sulfurique par d'autres liquid
tiques, tels que des acides plus ou moins concentr
tions salines de diverses espèces; mais l'intensité
ments varie avec la nature du liquide. Il faut to
mercure soit très-pur, et on observe généralement
plus ou moins violents qui rayonnent du point le
pôle négatif. Avec certains liquides, et en partic
trates, il se forme aussi un courant rayonnant du
qui, même dans quelques cas, l'emporte sur l'aut
courants coexistent dans le mercure, et, en conséqu
action, il se forme dans le globule de mercure une
libre plus près de l'un ou de l'autre pôle, suivant
rant est plus ou moins violent. En opérant au n
pile énergique et avec une grande quantité de m
au-dessous de dissolutions très-étendues, on ape
dans tous les cas ces contre-courants qui vienn
positif, surtout si l'on a soin de tenir ce pôle ra
négatif éloigné du globule de mercure.

On peut varier les expériences en mettant l'
immédiatement en contact avec le mercure, tandi
plonge seul dans le liquide électrolytique. On obt
rants très-sensibles qui rayonnent du pôle placé
nier liquide; quand c'est le pôle positif qui est en
le mercure, ces courants sont moins visibles à
promptitude avec laquelle la surface du métal s'
aux agitations du mercure on s'aperçoit de l'existe

sous de la couche d'oxyde; du reste, en empêchant par quelques gouttes d'acide nitrique affaibli, on rants s'établir aussi bien dans ce cas que dans

:e de la formation d'une couche oxydée sur les s semble déjà montrer que ces effets ne sont pas le ltat d'une action mécanique, mais qu'il se passe phénomène électro-chimique. Cette conséquence d'autres expériences d'Herschell lui-même, sur ous reviendrons, a été complétement confirmée par r Nobili a faite de ces phénomènes en les rattachant ion des apparences électro-chimiques. Le savant orne à remplacer, dans l'appareil que nous avons ame métallique par une surface AB (fig. 243) de n pur de 6 à 8 centimètres de diamètre, qu'il

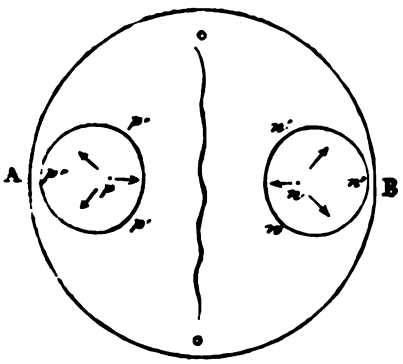


Fig. 243.

une dissolution de sulfate de soude formant une à 6 millimètres d'épaisseur, dans laquelle plongent s de platine en communication avec les pôles d'une e médiocre, de manière à ne laisser entre elles et lu mercure qu'un intervalle aussi petit que pos- oit aussitôt se former deux systèmes de courants r des limites qui correspondent aux contours des électro-chimiques ordinaires. Ces limites consistent

en deux lignes n', n' n'' et p', p', p'' ou bandes ovales, au dedans desquelles le mercure est un peu plus déprimé qu'au dehors; la première se forme au-dessus de la pointe négative et la seconde au-dessus de la positive. Au milieu, en o o, le mercure présente une ou deux lignes où sa surface paraît agitée comme par la rencontre des deux courants opposés, circonstance qui, jointe à celles que nous avons déjà rapportées, prouve bien que le siége du mouvement est à la surface du mercure et que la dissolution électrolytique ne fait que suivre le mouvement imprimé aux particules de ce métal. Il se forme presque toujours en p un peu d'oxyde qui est porté par les courants en dehors vers le contour où il s'accumule plus ou moins; puis il se répand vers le côté négatif qui l'absorbe et le réduit quand les courants de ce côté sont affaiblis au point de ne plus en empêcher l'expansion. Les courants négatifs disparaissent en même temps que l'ovale n', n' n'', dès que la couche d'oxyde est poussée par les courants positifs au delà de leurs limites ordinaires. Il suffit de mettre obstacle à l'expansion de cette couche au moyen d'une petite lame de verre plongée en o o à la surface du mercure pour voir les courants se maintenir en n et la couche d'oxyde s'accroître en p, de manière à prendre assez de consistance pour détruire les courants positifs; mais si l'on enlève la lame avant que l'oxydation soit bien avancée, on voit la pellicule d'oxyde se rompre en plusieurs fragments dont les intérieurs se répandent vers le côté négatif où ils sont absorbés et réduits, ce qui affaiblit les courants négatifs et ranime en même temps les positifs.

Quand on remplace la dissolution de sulfate de soude par d'autres, on obtient suivant la nature de ces dissolutions, ou les deux systèmes de courants rayonnants, ou seulement un seul, tantôt l'un, tantôt l'autre. La cause de ces différences tient à ce que les éléments qui viennent se déposer sur les pôles secondaires formés par le mercure couvrent sa surface d'une couche mince ou la laissent nette de tout dépôt apparent. Ainsi il n'y a point de courants négatifs avec des solutions de sels à base de cuivre, d'argent, d'étain, de bismuth, parce que les bases sont réduites sur le mercure en présentant à l'œil des couches plus

ms consistantes, tandis que ces mêmes courants sont très-
ec des solutions de sels alcalins ou terreux dont les mé-
issent, en se déposant, le mercure aussi liquide et aussi
t. Les courants positifs manquent également chaque fois
xygène et les acides se déposent en couches minces à la
du mercure; d'où résulte qu'on peut dire que les cou-
e se forment que là où manquent les couches qui déter-
les apparences électro-chimiques.

liquides superposés ne font que suivre le mouvement
é aux molécules du mercure ; il faut donc, pour appré-
rapidité de leur déplacement, tenir compte du degré de
é qu'ils possèdent sur la surface de ce métal ; mais il ne
s oublier que la vivacité des mouvements du mercure
ne tient à la nature de ces liquides, puisqu'elle est un
leur décomposition. L'acide sulfurique dont les gouttes,
on le sait, s'étendent sur le mercure avec une rapidité
linaire, est celui de tous qui possède au degré le plus
. la propriété dont il s'agit. Il suffit de la force électro-
la plus faible comme celle résultant d'un couple formé
mercure lui-même, l'acide sulfurique et un fil de fer
plonge, pour déterminer le phénomène [1].

eut faire l'expérience sous une forme très-remarquable
n'exige qu'une pile très-faible. On prend une masse de
e à laquelle on cherche à donner une figure bien circu-
3 centimètres de diamètre environ; on la recouvre
olution alcaline bien limpide. Une pointe de platine
niquant avec le pôle négatif de la pile est placée au-des-
centre de la goutte de mercure de manière à effleurer sa

comment M. Nobili s'y prend. Il plonge une goutte de mercure dans un
de sulfurique et la touche vers le bord avec l'extrémité d'un fil de fer;
se contracte immédiatement et ne touche plus le fer; puis, reprenant
naturelle, elle vient de nouveau rencontrer la pointe de fer pour se con-
s'étendre ensuite, continuant ainsi un mouvement alternatif de contrac-
dilatation, tant que dure l'action voltaïque des trois éléments du couple,
mercure, fer et acide. On n'obtient effectivement ce résultat qu'en em-
r fer ou d'autres métaux aisément oxydables; le contact de l'or ou du
n produit aucun effet.

surface; une seconde pointe semblable, à laquelle abo
pôle positif, plonge dans la solution au-dessus du cont
mercure, à une distance de 10 à 12 millimètres de so
extérieur. Dès que le circuit est établi, le mercure s'
notablement et se présente sous forme d'une étoile à
pointes émoussées dont l'une vient toucher le fil positif;
tôt que ce contact a eu lieu, le mercure rentre sur lu
en s'élevant vers la pointe négative qu'il touche de no
puis il s'aplatit, et ainsi de suite. Dans son mouvement
tour, la goutte circulaire se présente encore sous l'aspe
étoile dont les pointes obtuses se trouvent là où éta
échancrures de la première.

Les effets que nous venons de décrire, déjà passa
complexes, le deviennent encore davantage quand le
est allié avec un métal très-oxydable. Le sodium en pa
détermine, par son amalgamation avec le mercure, des
ments encore plus prononcés que les autres métaux d
genre, quoique tous ceux qui sont oxydables possèdent
moins la même propriété. Herschell et Nobili ont suc
ment étudié avec soin cette influence des métaux qui, d
avait déjà été signalée par Ermann, Pfaff et Serullas;
nier chimiste l'avait observée directement sans le secou
pile. Il avait cherché à analyser les mouvements giratoi
guliers que prennent les alliages du potassium avec d
métaux quand ils flottent en petits fragments sur le m
au-dessus de l'eau; ceux que produit l'alliage de potas
de bismuth lui avaient paru particulièrement énergiqu
rables.

Il est évident que dans les expériences de Herschell et
bili que nous allons brièvement rapporter, les effets d
présence du sodium ou des métaux semblables prove
l'électrolyse, ne sont que secondaires, puisqu'on peut l
nir en alliant directement le mercure avec ces métau
comme ils se combinent avec les effets plus directs du c
ils doivent être analysés pour qu'on puisse bien se
compte de ces derniers.

La manière la plus simple de mettre en évidence c

nomènes consiste à plonger (fig. 244) dans le mercure, il est recouvert de sulfate de soude, la pointe négative ière à avoir en n n' n'' un seul pôle négatif au-dessus de te positive. Cette simple immersion ranime les courants

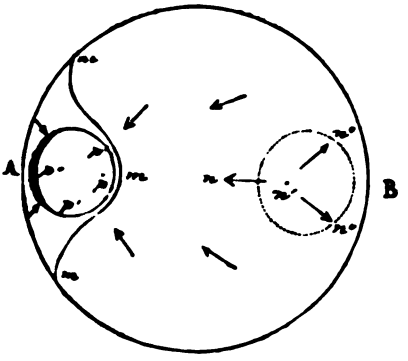


Fig. 244.

s dus essentiellement au dégagement du sodium qui au mercure ; un contact d'une minute suffit pour charmalgame d'autant de sodium qu'il en faut pour produire ts suivants. Au moment où l'on retire du mercure la négative, on voit disparaître les courants positifs autour nt p ; on observe, au contraire, un système de courants tous les points de la circonférence du mercure converpidement vers le centre. Ces courants ont des vitesses tes, ce qui infléchit la tache en A ; celle-ci a devant elle gne ou bande plus ou moins vive $m\,m\,m$, qui s'avance point n à mesure que le mouvement diminue et finit par l'ovale ponctué autour de ce dernier point, quand le sotant tout oxydé, le phénomène revient à son état primitif. oint essentiel qu'avait remarqué Herschell et qu'a con- Nobili, c'est l'inversion du mouvement à l'endroit des ts positifs que produit la présence du sodium dans le re. M. Nobili l'attribue à ce que le sodium, qui a une ndance à s'unir avec l'oxygène et les acides qui se trou- à l'état naissant en p, p' et p'', y accourt et détermine ainsi ulsion de cot s très-rapides, directement opposé au

rayonnement qui a lieu lorsque le mercure, privé de ce m
éminemment oxydable, n'a autre chose à faire qu'à prop
du centre à la circonférence l'impulsion qu'il reçoit de l'
gène et des acides dégagés.

Pendant qu'une partie du sodium arrive de tous les
pour se convertir en alcali sous l'influence de l'oxygè
mercure lui-même reçoit en $n\,n'$ et n'' une autre partie
sodium qui produit les courants négatifs ordinaires; m
cause des mouvements que détermine le sodium déjà pré
le contour ordinaire de l'apparence négative se défor
s'allonge au point d'être transporté du côté interne ju
$m\,m\,m$, ce qui fait qu'en même temps l'autre dépression
s'incline notablement vers A. Celle-ci se relève et se r
autour de son centre à mesure que le mouvement s'a
par la perte de sodium que subit l'amalgame; quand l'
reparaît autour du point n, c'est un signe que l'oxygène
tache positive n'a plus de sodium à oxyder; alors il atta
mercure et le recouvre d'une couche qui empêche bientôt
mouvement.

Nous n'insisterons pas sur les effets qu'on obtient en
geant dans les amalgames recouverts d'une solution
lytique un fil de cuivre ou de platine, parce que ce s
effets du même genre que les précédents, vu qu'on p
ainsi un couple voltaïque; nous ne nous arrêterons p
plus aux nombreuses expériences d'Herschell faites avec
amalgames et différentes solutions, parce qu'à l'intensité
ce sont les mêmes phénomènes. Nous nous bornerons à
remarques. La première consiste à signaler cette pr
curieuse d'un métal très-oxydable amalgamé avec le m
de se porter, sous l'influence du courant, là où il tro
l'oxygène et un acide avec lesquels il puisse se combiner.
y reviendrons en nous occupant de l'électricité dégagée
les couples voltaïques dont l'un des éléments est un
game. La seconde remarque, c'est que le mouvement du
cure dans le cas ordinaire est évidemment dû à l'abso
qu'il exerce sur les éléments que l'électrolyse dépose à s
face, non-seulement sur l'oxygène, d'une part, et sur l

ou autres bases métalliqu d'autre part, mais aussi ydrogène, comme nous e verrons des preuves plus it en effet, dès que ces éléments ne sont pas absorbés, estent à la surface, le m vement cesse. Quant aux ments eux-mêmes, ils ne s t point un effet mécanique rant analogue aux phénoı électro-dynamiques de ion et d'attraction, car les aimants les plus forts ne les ent point, tandis que, comme on le sait, ils déterminent ations énergiques sur le mercure, qui transmet simple- es courants sans intervention d'aucun liquide électro- . Ces mouvements sont donc le résultat d'actions pure- himiques; ils sont analogues à ceux qui sont produits ne foule de combinaisons dans lesquelles les corps sont s, soit parce qu'ils sont liquides, soit parce que, tout it solides, ils flottent sur un liquide, comme le sodium otassium, ou peuvent glisser sur un plan uni comme boules d'étain ou de fer en ignition. L'effet du courant es phénomènes qui viennent de nous occuper est seule- imprimer une direction à ces mouvements, parce qu'il rime une à l'action chimique en transportant par l'élec- , dans des points déterminés, les éléments entre lesquels xerce.

mouvements du mercure peuvent être produits encore manière remarquable au moyen d'une succession de ts instantanés et dirigés alternativement en sens con- tels que ceux qu'on obtient par induction avec la ma- de Saxton. On fait communiquer l'une des extrémités induit avec du mercure placé dans une capsule cylin- , et l'autre avec une pointe de platine plongée dans olution électrolytique, telle que de l'acide sulfurique de neuf fois son volume d'eau, qui recouvre la surface reure, de manière à en être à 3 ou 4 millimètres de dis- st à correspondre à son centre. Dès que les courants pas- n voit le mercure s'agiter et prendre un mouvement vi- re avec des ondulations partant du centre et dont la forme aire, elliptique ou polygonale, dépend du contour du vase. obtient égale nt un effet assez curieux en plaçant du

mercure dans un tube courbé en forme de syphon
en faisant communiquer l'une des colonnes verti
pôle négatif d'une pile, pendant que le positif est
une dissolution électrolytique qui recouvre le
l'autre ; il se produit une dépression dans ce
colonne, et par conséquent une différence de n
les deux colonnes de mercure qui est plus ou m
suivant l'intensité du courant[1]. Il semblerait qu
ce cas un phénomène analogue à celui que p
voltaïque quand on prend le mercure pour électr
cependant l'effet pouvant être produit par un c
faible, il est probable qu'il est, comme les précé
ment électro-chimique.

Je ne m'étends pas davantage sur l'ordre de
viens de décrire, et auxquels on avait en général
importance plus grande qu'ils n'en méritent rée
peut les considérer au fond comme se rattach
du mercure dans les phénomènes électro-chimiq
est vrai, assez singulier dans les cas d'amalgati
quel, comme je l'ai dit, nous aurons l'occasion de r
cependant d'un intérêt assez restreint, vu son cara

La seconde espèce de mouvement que nous av
en commençant ce paragraphe, consiste dans un t
s'opère à travers un diaphragme poreux d'un liq

[1] Gerboin, en 1801, avait le premier signalé ces mouvements
un tube courbé en forme d'U, soit de syphon renversé ; le tube
mercure jusqu'à la moitié de la hauteur des branches verticale
mercure était au sommet de chaque colonne recouverte d'une ca
laquelle plongeaient deux fils métalliques qui communiquaient
avec les pôles de la pile. C'est surtout sur la surface de celle
mercure qui, étant au-dessous du pôle positif, recevait l'hydrogè
la décomposition de l'eau, qu'il voyait des mouvements qui se m
la tendance des petits corps légers qu'on y jetait, de se porter de
sur la surface du tube. Mais si l'on faisait toucher au mercure la
le mouvement des petits corps légers avait aussitôt lieu en sens
à-dire de la circonférence au centre ; le mercure paraissait égal
au-dessous de la pointe positive, quand cette pointe en était très
Aucun effet n'avait lieu sur la surface du mercure placé au-dess
négative ; elle était seulement oxydée.

rant. Porret, qui l'a observé le premier, faisait
e en séparant une capsule en deux compartiments
l'un diaphragme en baudruche, et en mettant dans
l'eau ordinaire avec le pôle positif d'une pile dans
eux et le négatif dans l'autre. Au bout de peu de
voit l'eau passer à travers la baudruche dont elle
a résistance, de la case positive dans la négative où
ntient à un niveau plus élevé. Le phénomène n'est
ncé qu'autant que le liquide est un conducteur im-
que l'eau pure; avec de l'eau acidulée, il n'a plus
ecquerel a obtenu un phénomène du même genre
tubes remplis à moitié d'argile et d'eau, dont les
inférieures, fermées par des bouchons percés de
s, étaient plongés dans l'eau, tandis que les liquides
de chaque tube étaient mis respectivement en com-
n avec chacun des pôles d'une pile au moyen de
latine. L'argile était chassée du tube où plongeait le
f et non de l'autre.
e de ces expériences qu'il y a une tendance bien pro-
n liquide traversé par un courant à cheminer du
f vers le négatif, pourvu qu'il présente une certaine
résistance au passage du courant. M. Wiedemann a réussi, à la suite de recherches très-précises, à trouver les lois de ce phénomène. Dans une première série d'observations, il a eu pour but de déterminer la relation de l'intensité du courant voltaïque avec la quantité du liquide transporté en un temps donné.

Fig. 245.

était renfermé dans un grand vase de verre *hh* et dans un cylindre d'argile poreuse *a*, occupant le grand vase. Sur le cylindre d'argile était masti-loche de verre *c*, dont la tubulure laissait passer un

tube vertical *d*, muni d'un tube latéral d'écoulement l'intérieur et à l'extérieur du cylindre d'argile se trou deux lames de platine *g* et *i*, roulées en cylindre, com quant toutes deux avec des fils verticaux *f* et *k*, qu'on p mettre en rapport avec les pôles de la pile. La petite ouv par où le fil *f* traversait la cloche *c*, était hermétiqueme mée avec du mastic; l'adaptation du tube vertical *d* à la lure était assez parfaite pour rendre impossible la sorti quide. Le cylindre d'argile poreuse avait été immergé p longtemps dans l'acide chlorhydrique étendu avant de l'expérience; on l'avait ainsi débarrassé de toutes les n solubles qu'il pouvait contenir.

Dès que le courant était établi dans le sens indiqu figure, le liquide s'élevait dans le tube *d* et ne tardait p couler par le tube latéral *e*, lorsque le niveau avait d'une petite quantité l'orifice de ce tube; le flacon *l* d'ailleurs le liquide écoulé. Le phénomène résultait palement d'une action propre du courant, mais il y av quelques causes secondaires dont il fallait apprécier et l'influence.

On aurait d'abord pu craindre que la pression résul l'élévation du niveau dans le tube *d* ne tendît à contr phénomène et à diminuer la quantité de liquide trans travers le cylindre poreux; mais une expérience directe que cette crainte n'était pas fondée. On remplit d'eau l'a de manière à établir dans le tube *d* une élévation de égale à l'élévation observée, et l'on abandonna l'expé elle-même pendant plusieurs heures sans faire passer rant. Le niveau étant demeuré invariable, on en conclu pression exercée n'était pas assez forte pour faire pas quantité d'eau appréciable à travers le diaphragme.

Au commencement de l'expérience, l'élévation et l ment du liquide étaient dus en partie aux bulles d'hy dégagées sur la lame négative, qui venaient se loger verses parties de l'appareil; mais, au bout de peu d'i l'accumulation de gaz atteignit son maximum, et les n bulles formées se dégageaient incessamment par le

lors seulement que commençaient les observations. ment rien de pareil n'avait lieu lorsqu'on expérimentait dissolutions métalliques.

n, si l'expérience durait l mps, l'intensité du cou- meurant constante, la quan de liquide écoulée en un donné éprouvait un petit a nent. En même temps, ide placé à l'intérieur du cyli e poreux se troublait présence de particules tr la matière du cy- Ces particules étaient évi ent rachées par le li- aux pores du diaphragme aient donc s'é- et de là résultait l'accro rvé du courant

ourant était produit par pile de Daniell, et mesuré e boussole de tangentes ou r un galvanomètre com- irectement avec la boussole.

deux tableaux suivants d

que *les quantités de liquid*

sent proportionnelles aux

I. EAU DISTILLÉE.

Quantité q de liquide transportée.	Intensité i du courant.	Rapport $\frac{q}{i}$.
gr. 17,77	14,4	1,23
13,26	10,8	1,23
10,39	8,3	1,27
7,46	6,0	1,24
5,89	4,8	1,23
4,47	3,6	1,24
3,38	2,9	1,17
	Moyenne. . . .	1,23

II. SULFATE DE CUIVRE.

q	i	$\frac{q}{i}$.
gr. 2,48	10,6	0,234
2,32	10,1	0,230
2,26	9,8	0,231
2,11	9,3	0,226
1,69	6,5	0,229
1,25	5,35	0,233
	Moyenne. . . .	0,230

M. Wiedemann a également trouvé, en recouvrant s vement diverses portions de la surface du cylindre ave duit imperméable au liquide et non conducteur de l'él puis en diminuant graduellement son épaisseur, que *tités de liquide transportées par un courant galvanique une paroi poreuse sont indépendantes de l'étendue de c et de son épaisseur*. Il n'a trouvé aucune loi qui lie la transportée avec la résistance du liquide, mais il a r comme je l'avais observé en 1825, que les liquides ducteurs, tels que l'acide sulfurique étendu, ne sont portés en proportion appréciable.

Les expériences qui viennent d'être décrites étaie à une assez grave objection ; en effet, elles ne mesurai phénomène complexe produit par la combinaison causes tout à fait différentes, savoir : l'action propr rant et le frottement du liquide dans les pores du di Cette dernière cause ne laissait évidemment subsist comparabilité entre les expériences relatives à des li férents. C'est pourquoi M. Wiedemann a cherché d'expérimentation qui fût indé cette action perturbatrice, et i rêté à l'idée de mesurer la pr drostatique, qui peut faire dis phénomène du transport, et qu séquent, fait équilibre à l'acti du courant. L'appareil précéde crit a été modifié en conséquen capillaire *e* a été mis en com avec un petit manomètre à me (fig. 246), et l'extrémité supérie vertical *d* (fig. 245) a été herm fermée après l'introduction du liquide. Dans ces con passage du courant, au lieu de produire un écoulem du liquide, a déterminé un déplacement du mercure d nomètre, et ce déplacement s'est arrêté lorsque la pre à la différence de niveau du manomètre dans les deux a été assez forte pour faire repasser à chaque instant

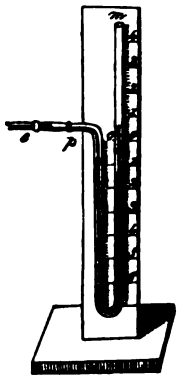


Fig. 246.

pores du cylindre, une quantité de liquide égale à celle que
urant voltaïque entraînait. Il est évident qu'il fallait évi-
dans cette disposition de l'appareil, tout dégagement de
dans le tube *d*, et, par conséquent, qu'on devait se borner
périmenter sur les dissolutions de sels métalliques. L'eau
, ou simplement acidulée, les dissolutions de sels alcalins,
e prêtaient pas à ce genre d'expérience.
s expériences nombreuses sur les dissolutions diversement
ntrées de sulfate de cuivre conduisirent à la loi suivante :
es hauteurs auxquelles s'élève le mercure dans le manomètre
proportionnelles à l'intensité du courant, en raison inverse
surface et en raison directe de l'épaisseur du diaphragme
ux.
s résultats s'accordent parfaitement bien avec ceux des ex-
nces sur les quantités de liquides transportées, si l'on tient
pte des lois de l'écoulement des liquides par les tubes ca-
aires, telles qu'elles ont été déterminées par MM. Hagen et
euille. On sait en effet que les quantités de liquide, qui s'é-
ent dans des temps égaux par des tubes capillaires très-
its, sont proportionnelles aux pressions et en raison inverse
a longueur des tubes. Or, un diaphragme poreux peut être
milé à un système de tubes capillaires dont le nombre est
nment proportionnel à l'étendue superficielle du dia-
agme, et la longueur pro ortionnelle à l'épaisseur. Les
ntités de liquide transportée par le courant voltaïque étant
portionnelles à l'intensité de ce courant, et indépendantes
l'épaisseur du diaphragme, les pressions, capables de pro-
e en sens inverse le transport d'une quantité égale de li-
de, doivent être proportionnelles à l'intensité du courant et
épaisseur du diaphragme. L'influence de l'étendue superfi-
e du diaphragme n'est pas moins évidente ; la pression qui
mine le passage d'une quantité donnée de liquide à travers
système de tubes capillaires aux, doit être en raison in-
e du nombre de ces tubes.
fin, l'influence de la nature du liquide se manifeste d'une
ière très-simple dans ce second genre d'expériences. *La hau-*
du mercure la re est proportionnelle à la résis-

tance électrique du liquide. C'est du moins ce qu'on peut co d'une série d'observations relatives à des dissolutions de de cuivre, où le courant était amené par des électrodes vre, de façon à éviter toute polarisation. Ces observatio résumées dans le tableau suivant :

PROPORTION de sulfate cristallisé pour cent parties de la dissolution.	RÉSISTANCE électrique de la dissolution.	RAPPORT de la hauteur du mercure à l'intensité du courant.	QUOTI des nombr 3e colonne de la
16,25	18,0	1,35	0,07
9,22	27,0	1,98	0,07
6,6	32,5	2,44	0,07
3,4	55,5	3,79	0,06
1,3	100,0	6,80	0,06
		Moyenne. . . .	0,07

La constance approchée des nombres de la quatrième est une preuve satisfaisante de l'exactitude de la loi. mant toutes ces lois, on peut dire que *la force avec la courant voltaïque tend à transporter un liquide à travers roi poreuse du pôle positif vers le pôle négatif, est me une pression qui est directement proportionnelle à l'int courant, à la résistance électrique du liquide, et à l'épa la paroi, et inversement proportionnelle à la surface de*

M. Wiedemann remarque que les lois simples auxqu trouvé que sont assujetties les actions mécaniques d'un sont les mêmes que celles que Ohm a assignées pour l bution de l'électricité dans un circuit fermé. Mais la qui se présente ici est de savoir si ces actions mécaniq bien l'effet direct du courant, ou si elles ne sont point séquence indirecte d'un phénomène électrolytique. C nière opinion, qui avait déjà été mise en avant par M. la suite d'expériences plus ou moins contestables, a ét par M. Graham, qui estime que, de même que dans la position de l'eau acidulée, un équiv t d'acide sulfu

vec l'oxygène à l'électrode positif, pendant qu'un équi-
d'hydrogène se dégage à l'électrode négatif, de même
décomposition de l'eau pure un radical basique composé
ieurs atomes d'eau et d'un équivalent d'hydrogène se
l'électrode négatif pendant que l'équivalent d'oxygène
ge au positif. Cette manière d'envisager le phénomène
rait que l'eau, lorsqu'elle est sous l'influence d'un cou-
ctrique qui la polarise, revêtirait une constitution chi-
particulière en vertu de laquelle un nombre d'atomes
onsidérable, mais variable cependant, seraient associés
le pour constituer une molécule d'eau liquide dont un
l'oxygène formerait le radical négatif ou acide analogue
re en demeurant à part, tandis que tous les autres atomes
nient un radical basique ou positif, contenant en défini-
équivalent d'hydrogène qui n'est pas neutralisé et qui
ne l'affinité basique, comme cela a lieu dans beaucoup
caux organiques. Maintenant, c'est ce radical basique
neux qui se transporte dans la décomposition électrique
u pure, et se décompose en hydrogène gazeux et en eau
trode négatif, en produisant cette accumulation d'eau
observe; en même temps l'oxygène se rend seul à l'élec-
ositif. Le diaphragme poreux est nécessaire pour mettre
lence cette accumulation de l'eau à l'électrode négatif,
empêcher le liquide de reprendre son niveau, comme il
écessaire dans les expériences de Daniell pour mettre en
ce l'accumulation de l'acide à l'électrode positif dans la
position de l'eau acidulée. L'analogie est encore plus
ete quand on met un voltamètre à eau acidulée dans le
circuit où se trouve l'appareil à cloison, plein d'eau or-
e; je me suis assuré que la quantité de gaz dégagée dans
nier appareil est exactement égale à celle qui est dégagée
e voltamètre. Or, s'il y avait dans le fait du transport de
n travail mécanique indépendant de l'électrolyse, il de-
rouver son équivalent dans une décomposition d'eau plus
ante au voltamètre, ce qui n'a pas lieu; d'où il semblerait
r que dans les deux appareils il y a simplement deux
himiques équivalents, l'un la décomposition de l'eau aci-

dulée avec oxygène et acide à l'électrode positif et hydro
négatif, et l'autre la décomposition de l'eau pure avec ox
l'électrode positif et eau et hydrogène basique au négat

La constitution hypothétique que prendrait l'eau s
fluence de la polarité électrique n'aurait rien d'étonnan
même qu'une molécule d'oxygène ou de tout autre corp
se compose d'un groupe d'atomes chimiques plus ou mo
breux, rien n'empêche de supposer qu'une molécule
compose d'un groupe d'atomes chimiques d'eau (comp
cun de 1 atome chimique d'oxygène et 2 d'hydrogène
moins nombreux. Dans ce groupe un atome d'oxygè
tache par le passage du courant pendant que les autr
d'eau, avec les deux atomes d'hydrogène, forment u
semblable avec l'atome d'oxygène du groupe ou de la
suivante, suivant la théorie de Grotthus, jusqu'à l'éle
gatif où finalement ils deviennent libres.

M. Graham, appliquant les mêmes idées à l'endosm
naire, voit dans cet ordre de phénomènes un effet de l'
produite par l'action chimique qu'exercent les liqui
lesquels la substance poreuse est interposée, sur cette
elle-même; il donne le nom de force *osmotique* à ce
particulière que revêt la force électrique ainsi pro
explique ainsi pourquoi le phénomène est beaucoup
quent et plus prononcé avec les membranes animale
des terres poreuses. Il n'en est pas de même quand
mose étant électrique, l'électricité est fournie aux liqui
tement par une source extérieure, cas dans lequel la
diaphragme poreux n'a d'autre influence que celle q
de la facilité plus ou moins grande avec laquelle il lai
le courant électrique. Nous reviendrons sur ce suj
nous traiterons de l'électricité développée par les actio
ques dont l'endosmose serait simplement dans cette th
manifestation remarquable; nous examinerons alor
quel point les idées de M. Graham peuvent se concilie
lois trouvées par M. Wiedemann et avec les faits qui
prouver qu'il peut y avoir endosmose sans aucune a
mique apparente.

s ne terminerons pas ce p rap sans rappeler les nces de M. Napier sur l'end él rique, qui, quoi- s ne soient pas contraires à la ère dont le profes- raham envisage ce phéno , dé ntrent cependant sité de l'étudier encore de plus p que ne l'a fait le chimiste anglais. L'une des plus remarquables con- placer les deux électrodes d'une pile chacun dans un reux rempli, celui où plonge l'électrode positif, d'acide hlorique, et celui où plonge le négatif, d'eau pure; les ses poreux étant eux-mêmes plongés dans de l'eau pure. le courant a passé quelques heures, on trouve un peu hydrochlorique dans l'eau intermédiaire, mais pas une ans le vase négatif dans lequel, par contre, la quantité ide a sensiblement augmenté aux dépens de l'eau exté- En changeant les électrodes de place, on voit l'eau dis- asser de la cellule positive dans le vase intermédiaire, et qui communique avec l'él ctrode négatif n'éprouve pas ngement; l'endosmose ne s passant, comme dans le cas ent, qu'entre les deux vases pleins d'eau pure. Il y a bien composition chimique, mais elle est très-faible. Il n'est cessaire, pour produire l'endosmose électrique, que le it soit très-fort, pourvu qu'il soit suffisamment prolongé. ier a réussi avec le courant d'un seul couple dont le zinc uivre étaient plongés dans deux compartiments séparés diaphragme poreux et remplis chacun d'eau distillée, à asser au bout de quarante jours du compartiment posi- négatif un volume d'eau équivalent presque à 1 kilo- ne; le courant n'accusait que 3° à un galvanomètre assez le mis dans le circuit, et quant à la décomposition de elle était évidente, puisqu'au bout de quarante jours le rait perdu 2gr·5, ce qui représente la quantité oxydée pen- durée de l'expérience.

3. Effets chimiques de l'électricité ordinaire et de l'étincelle électrique.

gtemps avant la découverte de la décomposition de l'eau

par la pile voltaïque, on avait réussi à produire des effets
miques par l'électricité des machines électriques. Je ne
pas des effets d'oxydation qui accompagnent l'incandes
des métaux par les décharges électriques, observés par
Marum et par d'autres, parce que ce n'est qu'indirectemen
l'électricité y contribue en réchauffant les fils métalli
Mais en 1790, Paetz et Van-Troostwik avaient décompos
dans ses deux gaz constituants, en faisant arriver l'éti
électrique au moyen d'un fil d'or très-fin, dans l'intérieu
tube de verre rempli d'eau, et en la faisant sortir au
d'un second fil semblable immergé aussi dans l'eau à q
distance du premier et communiquant avec le sol. Il fa
décharge assez forte pour opérer la décomposition, et l'
d'une bouteille de Leyde est nécessaire ; mais pour ne pa
une décharge qui brise le tube, on éloigne les deux fils
manière que leurs extrémités soient à une distance l'
l'autre de 4 centimètres environ ; puis on fait passer ent
de petites étincelles dont on augmente graduellement l
en rapprochant peu à peu un conducteur qui comm
avec l'un des fils de l'armure extérieure de la bout
Leyde, jusqu'à ce qu'on voie de très-petites bulles de ga
ver dans l'eau du tube. Dès qu'on a trouvé la puissanc
sante de l'électricité, on approche les deux fils d'or l
l'autre de manière à obtenir dans l'obscurité une petit
de 1 millimètre de longueur environ à leurs extrémité
gées dans l'eau. Cette distance est la plus favorable, pa
si l'on approche davantage les fils, l'étincelle passe d'
l'autre à travers l'eau et brise le tube. Le passage de 50
celles produit une quantité de gaz considérable qui
flamme en ne laissant qu'un très-petit résidu, par le
de l'étincelle; ce résidu provient de l'air qui était re
sous dans l'eau, il ne se présente plus quand on a fait
rience quatre ou cinq fois de suite avec la même eau.

Cuthbertson et Pearson réussirent aussi, au moye
très-grand nombre de décharges, à tirer de l'eau une
quantité de gaz oxygène et hydrogène mélangés. Mais le
cien qui obtint les effets les plus décisifs de décomposition

) au moyen de l'électricité ordinaire, fut Wollaston qui, 91, peu de temps après la décomposition de l'eau par la ontra que sans bouteille de Leyde, sans même machines ques puissantes, on pouvait réussir en se rapprochant au- se possible des conditions dans lesquelles on opère avec voltaïque. Il imagina d'introduire un fil d'or dans un pillaire en lui donnant une pointe aussi aiguë que pos- puis après avoir chauffé le tube au point de le faire adhé- pointe et de couvrir celle-ci de toutes parts, il l'usa gra- ment jusqu'à ce qu'il pût, avec une loupe, découvrir mité de la tige d'or[1]. En faisant passer à travers l'eau incelles électriques soutirées du conducteur de la ma- par des fils ainsi enveloppés, on réussissait à la décompo- moyen d'étincelles de 3 millimètres de longueur avec une qui n'avait pas plus de $\frac{1}{10}$ de millimètre de diamètre. on diminue encore davantage ce diamètre, on peut ob- n dégagement continu de petites bulles gazeuses, tout blissant un contact complet entre le fil et le conducteur nachine sans produire aucune étincelle visible entre eux. nt avoir également deux courants de gaz en faisant passer ricité des deux côtés de l'eau à la fois par le moyen de s fines, dont l'une communique avec le conducteur posi- l'autre avec le conducteur négatif de la machine. Toute- phénomène, malgré la similitude d'apparence, ne se pas de la même manière qu'avec la pile, car chaque fil à la fois de l'oxygène et l'hydrogène au lieu de les ire séparément.

llaston avait réussi cependant à décomposer des sels par ricité ordinaire comme par la pile; ainsi, ayant plongé fils d'argent recouverts de cire, sauf à leur extrémité , dans une solution de sulfate de cuivre, et ayant fait niquer l'un des fils avec le conducteur positif et l'autre conducteur négatif d'une machine électrique, il obtint,

même procédé est applicable aux fils de platine ; nous en avons fait usage ur des électrodes qui présentassent le moins possible de points de contact liquides (fig. 261).

au bout de cent révolutions de la machine, un dépôt de cu métallique au fil négatif, tandis que le fil positif ne prés rien de semblable. De même ayant fait passer un courant tincelles entre deux pointes d'or très-fines placées à 25 mètres de distance l'une de l'autre sur une carte colorée une forte teinture de tournesol, il remarqua, après un petit nombre de tours de la machine, une tache rouge t sible autour du fil positif; en mettant le fil négatif près même tache, on la vit reprendre bientôt sa couleur.

Les expériences de Wollaston démontrent bien la pu décomposante de l'électricité des machines ordinaires laissent encore quelques doutes sur la nature du mode composition. Est-ce une simple décomposition, ou cette dé sition est-elle accompagnée du transport des éléments qui térise l'effet du courant et que nous avons nommé électr

M. Bonijol avait, il est vrai, réussi à décomposer l'e trolytiquement au moyen de l'électricité atmosphériq employant un appareil à pointes fines avec lequel il l'ava décomposée au moyen de l'électricité ordinaire. Il soutin lectricité atmosphérique par l'intermédiaire d'une pointe à l'extrémité d'une tige isolante et communiquant, pa métallique très-fin, avec l'appareil où s'opérait la déco tion. Le même physicien était aussi parvenu à décomp potasse et le chlorure d'argent solides en les plaçant d tube très-étroit et en les faisant traverser par une suite celles électriques amenées dans le tube au moyen de de métalliques, l'un communiquant avec le conducteur de chine, l'autre avec le sol; au bout de cinq à dix minu trouvait dans le tube soit du potassium qui prenait feu à qu'il était réduit, soit du sodium. Mais on ne pouvait p plus constater si la décomposition était électrolytique o

Faraday, après avoir confirmé l'exactitude de celles d périences de Wollaston, qui sont favorables à la décomp électrolytique, réussit à la démontrer d'une manière be plus évidente. Il prit pour cela une plaque de verre sur la il appliqua deux feuilles d'étain *a* et *b* (fig. 247), qu'il a communication au moyen de fils isolés *c* et *d*, l'une avec l

r positif d'une machine électrique, et l'autre avec le teur négatif ou avec un appareil de décharge[1]; de cha- ces lames d'étain partait un fil fin de platine bien en avec elles et aboutissant l'un en *p*, l'autre en *n*, formant

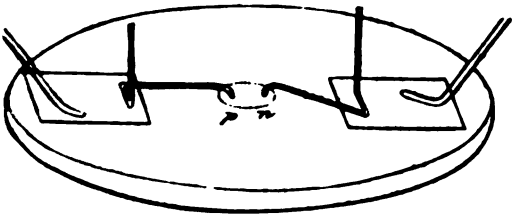


Fig. 247.

ı pôle positif et un pôle négatif. Une goutte de sulfate re ayant été placée sur la lame de verre de manière que ıtes *p* et *n* pussent y plonger, il se précipita au bout de ours de la machine, tellement de cuivre en *n* que le fil ıit être tout de cuivre; il ne passait pas d'étincelles. De : de potassium mélangé avec l'amidon donnait bien vite e libre en *p*.

ıeilleure manière d'opérer pour ce genre d'expériences abiber un morceau de papier joseph de la solution qu'on ıcomposer et de le placer entre les deux pointes *p* et *n*.

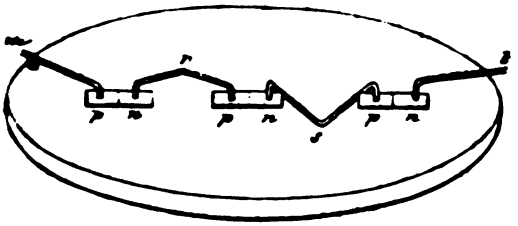


Fig. 248.

'on voit le papier imbibé d'une solution d'iodure de po- ı dans l'amidon bleuir en *p* après qu'on a tourné à peine

ı avons déjà indiqué dans le tome Ier, que Faraday entend par appareil ter un système d[illegible] que les tuyaux destinés à amener le [illegible] qui com[illegible] parfaite avec le sol.

un seul demi tour de la machine; c'est le réactif électro-chimique le plus sensible qu'il soit possible de trouver. Un morceau de papier de tournesol imbibé de sulfate de soude rougit immédiatement en *p*, tandis que du papier de curcuma humecté de même rougit en *n* par l'effet du dégagement de l'alcali. On peut même imiter encore mieux les effets de l'électricité voltaïque en disposant (fig. 248), à la suite les uns des autres sur la plaque de verre, plusieurs petits morceaux de papier moitié de tournesol, moitié de curcuma, humectés avec le sulfate de soude, et en les réunissant par des conducteurs métalliques en platine *r* et *s*, de manière que les extrémités *n* de ces fils et du fil extrême *t* qui communique avec le conducteur négatif, soient en contact avec le papier de curcuma, et que les extrémités *p* des mêmes fils et du fil extrême *m* qui communique avec le conducteur positif, soient en contact avec le papier de tournesol, les points *r* et *s* reposant sur le verre. Après quelques tours de la machine, on voit, à la couleur que prennent les papiers, que l'acide s'est dégagé à tous les points *p* et l'alcali à tous les points *n*.

Il faut dans toutes ces expériences avoir soin d'éviter que l'étincelle ne passe par-dessus le papier humecté, parce qu'il est affecté par l'acide nitrique dont l'étincelle détermine la formation en opérant la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air.

On peut obtenir les mêmes effets en ne se servant que d'un conducteur amenant l'une des électricités à l'un des bouts du papier humecté, et en faisant communiquer l'autre bout avec le sol ou simplement avec l'air au moyen d'un cordon de lin ou de chanvre aussi long qu'on le veut, humecté de la même solution que le papier et suspendu par des fils de soie de manière à être isolé. Le point où l'extrémité métallique du conducteur aboutit manifeste le dégagement de l'acide ou de l'alcali, suivant la nature de l'électricité qui y parvient. Un seul pôle métallique peut donc produire la décomposition et recevoir l'un des éléments pendant que l'autre se dégage quelque part à l'extrémité opposée du conducteur liquide, par exemple contre l'air qui peut servir lui-même de pôle, soit d'électrode. Faraday cite

rs expériences qui prouvent la réalité de cette dernière tion. Ainsi un morceau de papier de curcuma *a* et un s de papier de tournesol *b* (fig. 249), ayant été trempés n solution de sulfate de so , furent placés sur de la re deux aiguilles *p* et *n* qu étaient en communication,

Fig. 249.

ec le conducteur de la machine au moyen d'un fil de t l'autre avec l'appareil de décharge; l'intervalle entre pointe et l'extrémité de la bande de papier correspon- ait de 12 millimètres environ; la pointe *p* était opposée er de tournesol, et la pointe *n* au papier de curcuma. Dès nt touché la machine, la décomposition eut lieu; l'ex- *b* manifesta la réaction acide, et l'extrémité *a* la réaction , ce qui indique que l'électricité positive arrive de la à travers l'air jusqu'en *b* où elle pénètre dans le papier é, et la négative de la même manière de la pointe *n* jus- . Dans ce cas l'air fait également des deux côtés l'office ode; résultat qui ne peut être obtenu qu'au moyen de cité ordinaire, seule capable de traverser un conducteur parfait que l'air. On peut donner à cette dernière expé- une forme encore plus piquante et qui l'assimile aux ces analogues qu'on fait avec la pile voltaïque, en pla-

Fig. 250.

g. 250; une série de petites bandes de papier tournesol et *a b*, humectées d'une solution de sulfate de soude et à une certaine distance les unes des autres, sur une

lame de verre entre les pointes métalliques *p* et *n* pa
vent l'électricité positive et la négative. Toutes les poin
pier tournesol, aussi bien que celles du papier curc
rougies, ce qui prouve que les petites couches d'air i
entre les bandes de papier font l'office de conducteur
trodes, comme le faisaient les fils métalliques de la fi

Les résultats qui précèdent sont parfaitement d'a
la théorie que nous avons donnée de l'électrolyse. Le
d'un électrolyte séparés par le courant et qui sont t
par voie de décomposition et de recomposition suc
déposent là où ils ne trouvent plus un élément ave
puissent se combiner; ordinairement c'est contre
d'un métal que ce dépôt a lieu; mais nous avons v
plusieurs cas, il peut avoir lieu contre la surface d'
comme, par exemple, dans le cas de la décompositi
fate de magnésie, dans lequel la magnésie s'arrête c
placée entre le sulfate et le pôle négatif et n'atteint p
Il n'est donc pas étonnant que l'acide du sulfate
d'une part, et son alcali, de l'autre, s'arrêtent con
face de la couche d'air interposée entre les bandes d
les pôles positif et négatif, puisqu'ils ne peuvent se
ni avec l'oxygène ni avec l'azote de cet air.

Mais si l'électricité ordinaire peut, ainsi que l'a pr
day, opérer la décomposition électrolytique à la façc
rant de la pile, il n'en est pas moins vrai qu'elle pr
la décomposition sans transport des éléments, par ex
les expériences de Wollaston sur la décomposition
Cependant nous devons ajouter que Davy avait réus
les deux gaz constituants de l'eau en y plongeant
bien fine d'un fil de platine qui recevait l'électricité
chine électrique, et en faisant dissiper cette électricit
au moyen de filaments de coton; il recueillait, à ce q
les gaz oxygène et hydrogène séparés, mais il ne di
se déposait celui des deux gaz qui ne se dégageait p
platine. Cette expérience assez douteuse est la seul
quelle on ait réussi à obtenir les gaz séparés dans la
sition de l'eau par l'électricité ordinaire; dans toute

obtient mélangés. L'explication de ce fait tient à ce qu'il
tinguer, dans les décompositions opérées par l'électricité
re, celles qui résultent de la transmission régulière et
e de l'électricité, de celles qui sont dues à l'effet calori-
e l'étincelle agissant sur les molécules du liquide en
avec le fil métallique d'où elle sort. Les deux modes
t se présenter simultanément et dans des proportions
endent des circonstances de l'expérience plus favorables
u à l'autre. Le mode électrolytique est favorisé par les
très-pointues des électrodes qui permettent un écoule-
ontinu de l'électricité semblable à un courant; mais il
outre que le liquide soit bon conducteur; c'est pour-
a lieu avec des dissolutions salines ou acides. Le mode
ctrolytique se présente surtout quand les liquides sont
teurs imparfaits, tels que l'eau distillée, ou même quand
t presque totalement isolants, tels que l'alcool et les

s avons déjà vu que Morgan avait décomposé l'alcool et
les en y faisant passer des décharges électriques[1]. Nous
également vu que Davy avait réussi, au moyen de l'étin-
oltaïque produite entre deux pointes de charbon plon-
ans divers liquides, à décomposer ces liquides, qu'ils fus-
n non conducteurs, preuve que la décomposition n'était
n moins dans le plus grand nombre des cas, électroly-
mais bien un effet de la chaleur dégagée entre les poin-
. Melly a examiné de plus près ce mode de décomposition.
it usage d'un tube fermé par le bas au moyen d'un liége,
ers lequel pénétrait un fil métallique, mis par son extré-
extérieure en communication avec l'un des pôles d'une
Grove de 5 à 6 couples, et dans ce tube rempli du liquide
s à l'expérience plongeait un autre tube plus petit plein
me liquide, mais fermé par le haut au moyen d'un liége
é également par un fil de métal communiquant avec
pôle de la pile. Avec la main, on pouvait établir et rom-
contact entre les extrémités des deux fils plongés dans le

[1] II, page 81.

liquide, et à chaque rupture une étincelle était produite. Il est facile d'obtenir plus d'une centaine de ces étincelles par minute, dès que la main est accoutumée à cette espèce de mouvement de va et vient. Au reste, on peut au moyen d'un petit levier mis en communication avec une roue dentée qu'on fait mouvoir à la main, opérer très-facilement l'établissement et la rupture du contact entre les deux fils; on peut même mettre la roue dentée dans le liquide ainsi qu'un petit ressort métallique qui presse constamment sur la circonférence; ce ressort communique avec l'un des pôles, l'axe de la roue avec l'autre, et on obtient ainsi, en faisant tourner la roue, une série d'étincelles dont le nombre dépend et de celui de ses dents et de la vitesse avec laquelle on la fait tourner[1]. Par ces divers procédés M. Melly a réussi à décomposer l'huile d'olive, l'essence de térébenthine, l'éther sulfurique, l'alcool absolu, l'alcool à 36°, le naphte ordinaire, le naphte pur, le sulfure de carbone, le chlorure de soufre et l'eau distillée, substances dont aucune ne pouvait être décomposée électrolytiquement par le courant de la pile employée pour produire l'étincelle.

On observe, en général, dans ces expériences deux faits différents : la production d'une vapeur saturée du liquide lorsqu'il est passablement volatile, et sa décomposition. L'essence de térébenthine ne se vaporise pas sensiblement, mais on y voit un dégagement de grosses bulles gazeuses qui sont un mélange d'hydrogène et d'hydrogène carboné, et un dépôt de charbon qui reste en suspension dans le liquide; l'huile d'olive et le naphte donnent des résultats assez semblables à celui qu'on obtient avec l'essence de térébenthine. L'alcool et surtout l'éther, produisent un dégagement considérable de bulles de vapeur outre celles du gaz, qui, arrivées au haut du tube, se condensent peu à peu par le refroidissement de l'appareil. Le dépôt de charbon est assez faible. Le sulfure de carbone ne donne aucun gaz; le chlorure de soufre en dégage un peu; dans ces deux liquides les fils métalliques, qui sont de cuivre,

[1] Voyez tome I, page 299, figure 131, une roue semblable à celle dont il s'agit.

ment gris par la formation d'un sulfure, et du charbon
melles d'un gris brillant reste en suspension dans le pre-
, tandis qu'un peu de soufre d'un jaune sale se trouve
le second. De l'eau distillée, parfaitement pure et privée
avec beaucoup de soin, donne lieu à un dépôt pulvéru-
qui est du protoxyde de cuivre, et à un dégagement ga-
composé pour les trois quarts d'un mélange d'oxygène
ydrogène, et pour un quart d'hydrogène pur équivalent
blement à l'oxygène du protoxyde de cuivre. En substi-
des fils de platine aux fils de cuivre dans l'expérience de
distillée, on n'obtient presque point de gaz, mais un dépôt
abondant d'une poudre noire qui n'est autre chose que
atine très-divisé, ainsi qu'il est facile de le constater. Cette
ience démontre que, sous l'influence de la chaleur de
celle voltaïque, le platine a été alternativement oxydé et
t par l'hydrogène de l'eau qui, par conséquent, a été
nposée de la même manière que la vapeur d'alcool ou
er est décomposée dans la lampe aphlogistique, par la
ur du platine incandescent. Entre deux fragments du
qu'on retire de la fabrication du gaz de l'éclairage,
tient une étincelle qui décompose très-bien l'eau distillée
une production d'hydrogène et d'un peu d'acide carbo-
e, la plus grande partie de cet acide restant dissous dans
.

peut avec avantage rempla ls toutes ces expériences
celle de la pile par l'étince le nduction, qui produit les
es effets avec un nombre d co es voltaïques bien moins
dérable; un seul suffit avec bon appareil d'induction.
fois les effets sont plus complexes, parce que les cou-
d'induction agissent souvent sur le liquide électrolytique
en même temps qu'ils le décomposent par l'étincelle.
ce qui explique les résultats anomaux que Grove a
us en décomposant, au moyen des courants d'induction
appareil de Ruhmkorff [1], de l'eau distillée, soit pure,
légerement acide, soit fortement acide. Les électrodes

[1] Voyez tome I, page 351.

étaient des fils de platine très-fins scellés dans des tu
verre, de façon que leur extrémité était incrustée dans l
même du tube sans le dépasser. Le produit gazeux acc
autour de chaque pointe était un mélange d'oxygène e
drogène avec excès tantôt de l'un, tantôt de l'autre gaz;
dant, quand on réunit les mélanges gazeux accumulés
de chacun des deux électrodes, on trouve, après les a
détonner, un excès d'hydrogène si l'eau renferme u
faible quantité d'acide sulfurique, et un excès d'oxygèn
en renferme au delà de la proportion qui lui donne so
mum de conductibilité. Quand elle en renferme exa
cette proportion, il n'y a presque pas excès ni de l'u
l'autre gaz. Il faut remarquer encore que les volumes
ne sont jamais égaux sur les deux électrodes : c'est t
l'un, tantôt à l'autre, qu'ils sont plus considérables. Si,
de pointe, on prend une lame de platine pour l'un des éle
il n'y a pas dégagement sensible de gaz autour de l
tandis qu'il y en a autour de l'autre électrode qui est r
pointe, comme lorsqu'ils étaient des pointes l'un et
Tous ces effets sont du même genre que ceux que no
décrits dans le § 4, avec cette différence que, indépend
de la présence des courants alternatifs qui agissent élec
quement, portant à la fois de l'oxygène et de l'hydr
chacun des électrodes où ils éprouvent une recompositi
tielle et même quelquefois totale, comme avec la lame,
vention de l'étincelle qui, avec l'appareil de Ruhmkorff
forte, vient compliquer encore les résultats.

Il est probable que l'excès de l'hydrogène, observé da
ques cas, tient à la formation d'un peu d'eau oxygénée,
celui de l'oxygène qui a lieu quand l'eau acidulée est conc
tient également à la formation d'un produit secondaire,
de l'hydrogène sulfuré. L'observation que M. Grove a fai
se dépose une poudre noirâtre, qui est du platine divisé,
il a fait passer pendant un très-grand nombre d'heures (3
non consécutives, la décharge de l'appareil de Ruhmk
moyen d'une lame et d'une pointe servant l'électrodes, à
de la vapeur d'eau provenant d'eau distillée placée sous l

preuve de la décomposition et recomposition alterna-
: l'eau.

, comme le remarque avec raison M. Masson, à la suite
ques recherches faites également avec l'appareil de
orff, tous ces résultats, ainsi que ceux qu'il a lui-même
, confirment la distinction que nous avons établie entre
nposition *polaire* ou *électrolytique* et la décomposition
ue. Ce physicien a observé que la décomposition est
ıp plus abondante là où l'électrode est lumineux, par
: au négatif et à celui qui est terminé en pointe quand
a la forme d'une boule, parce que les deux modes de
osition s'y trouvent réunis. Il cite plusieurs exemples
nd mode de décomposition qu'il a étudié, comme
y l'avait déjà fait, en opérant sur des substances non
rices. M. Quet, qui a fait des expériences du même
ne celles de M. Masson et de M. Grove, remarque que le
latine et le verre qui l'entoure s'altèrent et se fusent,
roir servi à la décomposition de l'eau avec l'appareil de
orff.

it important de prouver directement l'existence de la dé-
ition calorifique, car on pouvait toujours soupçonner
était un effet même de l'électricité et non pas de la cha-
e cette électricité dégage. C'est à M. Grove qu'on doit
démontré que la décomposition, dans le cas où elle n'est
trolytique, est bien due à l'action de la chaleur. Il est

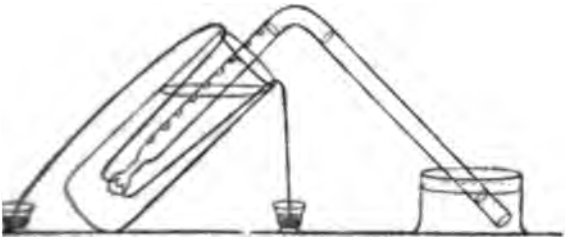


Fig. 251.

parvenu, après divers tâtonnements, à décomposer
ı faisant rougir, au moyen d'un courant électrique, un
tine inséré c le bas d'un tube rempli d'eau, et ré-

tréci immédiatement au-dessus du fil, de façon à ne la
l'espace strictement nécessaire à la vapeur formée p
leur du fil pour monter, et à l'eau pour redescendre
Deux couples suffisent pour que l'air, étant expulsé
l'eau bouillir et le fil devenir incandescent au mil
vapeur, puis on aperçoit de petites bulles gazeuses
et monter au sommet du tube, d'où elles se rendent,
de sa courbure, sous une cloche; le phénomène n'
d'une manière continue, mais seulement par saccad
est un mélange d'hydrogène et d'oxygène. Il est évid
décomposition de l'eau est bien un effet de la chaleu
non du courant qui la traverserait, car ce courant est
d'être transmis à travers l'eau distillée, et l'on n'obti
effet en séparant le fil de platine à son milieu, et en
l'eau au moyen de la flamme d'une lampe à alcool
extérieurement, tandis que, en la vaporisant de la n
nière, si le fil est continu et que le courant le traver
termine la formation
de gaz, en remplissa
(fig. 252) d'eau bie
et soigneusement pu
Seulement il faut tra
bulle dans un autre
en obtenir une sec
ne peut pas, lors m
maintient l'incandesc

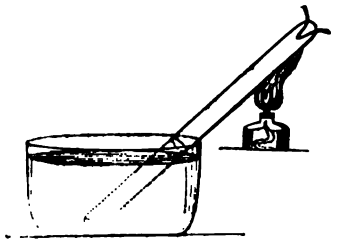


Fig. 252.

temps, augmenter le volume du mélange gazeux au
quantité très-limitée, ce qui tient probablement à ce
tant alors en contact avec le fil de platine, il déto
forme l'eau. Dans l'expérience de la fig. 250 il n'e
de même, parce que les bulles gazeuses s'échappaien
tube à mesure de leur formation. Au reste, le mod
de la fig. 252 exclut toute idée de décomposition élect
puisque le fil de platine incandescent n'est point
avec l'eau, mais uniquement avec une atmosphère no
trice de vapeur sèche.

Après ces divers essais, M. Grove, voulant exclu

rant électrique même comme source de chaleur, se procura
e d'argent de 24 centim. de longueur sur 1 de diamètre
n, à l'extrémité supérieure duquel était soudée une tête
ine munie d'un petit tube
ment en platine soudé et
à l'or (fig. 253). L'appareil
mpli d'eau convenable-
préparée, et celle-ci fut
e soumise à l'ébullition
hasser l'air adhérent aux
. Le tube fut alors ren-
et chauffé à son extrémité
eure par la flamme d'un

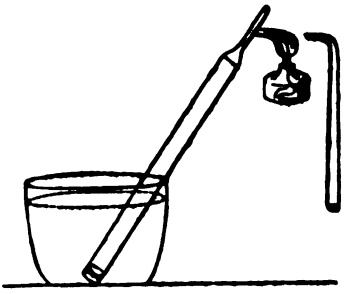


Fig. 253.

meau; en le renversant sous l'eau, on recueillit une petite détonnante. Avec un globule de platine qu'on fait fondre trémité d'un gros fil, on détermine également la décom-on de l'eau en l'y plongeant au moment où il arrive à de fusion. Mais pour avoir un dégagement continu de gaz in de l'eau soumise à l'action seule de la chaleur, Grove ruisit l'appareil suivant (fig. 254), dans lequel *a* et *b* sont tubes d'argent longs de 9 cent. et de 8 millim. de dia-

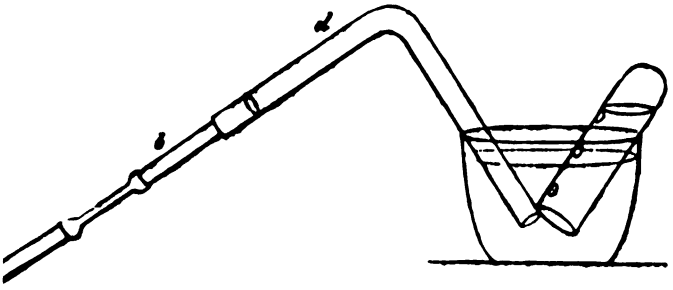


Fig. 254.

, soudés par deux culots de platine à un tube plus étroit ment en platine. Le tube *a* est bouché à son extrémité, et e de verre *d* recourbé est ajusté au moyen d'une bande sie à l'extrémité du tube *b*. Le tout est rempli d'eau e d'air, et ap , au moyen de la chaleur, déterminé

l'expulsion de l'air du tube *a*, on plonge dans une capsule d'eau bouillante l'extrémité du tube de verre. On chauffe au moyen d'une lampe à alcool d'abord le tube *b*, puis le tube *a* jusqu'à complète ébullition; aussitôt on lance sur le tube de jonction de platine le dard d'un chalumeau à gaz. Lorsque la température a atteint d'aussi près que possible le point de fusion du platine, le gaz se dégage en même temps que la vapeur, de manière à remplir l'appareil et même à sortir au dehors; on le recueille alors dans une éprouvette. Il est pour les $\frac{7}{10}$ un mélange d'oxygène et d'hydrogène dans les proportions qui forment l'eau; le résidu est de l'azote avec un peu d'oxygène qui provient de l'air dissous dans l'eau.

Ainsi, sous l'influence du platine incandescent la chaleur seule, sans aucune influence électrique, peut décomposer l'eau. On ne peut attribuer ce phénomène à la force catalytique du platine, puisqu'au contraire cette force déterminerait la combinaison loin de produire la décomposition; c'est donc bien un effet direct de la chaleur.

L'action sur les gaz de la chaleur électrique présente aussi des phénomènes curieux qu'il importe d'étudier. C'est également ce qu'a fait M. Grove en logeant successivement diverses substances gazeuses dans un tube semblable à celui de la figure 251, et en rendant incandescent au moyen d'un courant voltaïque le fil de platine qui traverse le haut du tube. Les expériences étaient tantôt faites sur l'eau, tantôt sur le mercure. L'oxygène, l'azote, l'hydrogène et l'acide carbonique n'éprouvaient pas d'altération sensible. Le bioxyde d'azote recueilli sur l'eau distillée se contractait de $\frac{1}{3}$ de son volume initial; le résidu était de l'azote, et de l'acide nitrique se trouvait en dissolution dans l'eau. Le protoxyde d'azote se décomposait en azote et oxygène, en augmentant de 0,35 de son volume primitif. L'ammoniaque doublait de volume, l'eau ne l'absorbait plus, il était décomposé dans ses trois parties d'hydrogène et une d'azote. Le gaz oléfiant subissait une légère contraction de volume, accompagnée d'un faible dépôt de charbon, mais la décomposition du gaz n'était point complète. Le chlore et le cyanogène donnaient d'épaisses

blanches qui provenaient probablement de leur action
ıatine.
ıtemps avant Grove, on avait déjà réussi à décomposer les
r l'étincelle électrique, mais en montrant que le même
ı produit par le platine incandescent, Grove a prouvé que
en à la chaleur de l'étincelle et non pas à ce qu'elle est
ue que le phénomène est dû. Le protoxyde et le deutoxyde
ainsi que l'ammoniaque sont décomposés par l'étincelle
par le platine incandescent ; mais l'étincelle décompose
e les hydrogènes sulfuré et phosphoré, le volume d'hy-
e ne change pas, mais il se dépose du soufre et du phos-
Les gaz hydrogènes carbonés et l'acide hydrochlorique
ssi décomposés ; avec l'acide carbonique on remarque une
ntation de volume et la formation d'un peu d'oxyde de
e, mais la décomposition n'est jamais complète.
chose assez remarquable, c'est que cette même étincelle
ue qui décompose les gaz composés en les traversant,
ine de la même manière la combinaison
z élémentaires. L'appareil qui sert à
re ces combinaisons est le même que
u moyen duquel on produit la décom-
ı. C'est un tube en verre dont les pa-
ivent être très-fortes, d'un centimètre
seur (fig. 255), fermé à son sommet
ert à son autre extrémité ; il doit être
lans la portion voisine du sommet, de
etits trous par lesquels on introduit
ls métalliques de platine ou de cuivre,
sont hermétiquement scellés. Les ex-
s intérieures des deux fils sont vis-à-
ne de l'autre, laissant entre elles un in-
: de 1 à 2 millimètres ; c'est entre elles
fait jaillir l'étincelle, en faisant com-
ıer les extrémités extérieures des fils,

Fig. 255.

avec l'armure intérieure, l'autre avec l'armure ex-
e d'une bouteille de Leyde. On remplit le tube ordi-
ent de mercure plutôt que d'eau, à cause des gaz so-

lubles, puis on y fait passer les gaz dont on veut déterm
combinaison, en ayant bien soin de ne pas en introdui
pour chasser tout le mercure, dont il faut laisser toujou
ques centimètres au bas du tube; celui-ci plonge par s
dans une petite cuve où se trouve du mercure, qui r
dans son intérieur lorsque la combinaison des gaz a dé
une diminution de volume dans la masse gazeuse, ai
cela arrive le plus souvent.

La combinaison qui s'opère le plus facilement, au m
l'étincelle électrique, est celle de deux volumes d'hydro
d'un volume d'oxygène; elle est accompagnée d'une
détonation qui risque de briser le tube de verre s'il n
très-fort, et le mercure monte rapidement jusqu'au h
tube pour remplir l'espace devenu vide par la condens
la vapeur d'eau formée par la combinaison des deux ga
appelle-t-on mélange explosif le mélange d'oxygène e
drogène dans les proportions qui constituent l'eau. Si l
gaz est en excès, il n'empêche pas la combinaison qui
toujours entre deux volumes d'hydrogène et un volum
gène, avec un excédant du gaz qui se trouve en pro
trop forte dans le mélange. Toutefois, il ne faut pas qu
en excès dépasse sept fois le volume du mélange expl
est de l'hydrogène, et douze fois s'il est de l'oxygène;
plus alors de combinaison. De même, s'il y a plus de
lumes d'air atmosphérique mélangés avec un volume
lange explosif, celui-ci ne détonne pas sous l'action de l'é
électrique. Cette influence négative de la présence d'
sième gaz est générale, mais la proportion du gaz né
pour empêcher la combinaison de l'oxygène et de l'hy
varie suivant sa nature. Il est probable que cet effet
l'action refroidissante qu'exerce sur l'étincelle la quant
sidérable de gaz au milieu de laquelle est, pour ain
noyé le mélange explosif; tel est du moins le cas quan
en excès est de l'hydrogène, de l'oxygène ou de l'air atmo
que. Mais il peut aussi arriver que ce gaz exerce lui-mê
action sur l'oxygène ou l hydrogène du mélange, et alo
faut une proportion beaucoup moindre pour arrêter l

'est ce qui arrive avec le gaz acide hydrochlorique, le de sulfureux et l'ammoniaque.

ı devons remarquer, en effet, que dans le phénomène de binaison de l'oxygène et de l'hydrogène par l'étincelle ıue, la chaleur de l'étincelle en déterminant la combi- des premières molécules gazeuses qu'elle rencontre, ı ainsi à son tour elle-même la cause d'un grand déve- ıent de chaleur qui produit la combinaison d'autres mo- , et ainsi de suite, de sorte que la combinaison est pour ire instantanée, phénomène qu'on peut, en conséquence, er à la grande chaleur qui accompagne la combinaison ygène et de l'hydrogène. Mais quand il s'agit d'autres ls que l'azote et l'oxygène, par exemple, qui ne produi- ır leur combinaison que peu de chaleur, il faut pour les ıer ensemble un très-grand nombre d'étincelles, parce ıque étincelle ne détermine la combinaison que de celles lécules des deux gaz qu'elle rencontre directement. C'est ıvaient observé Priestley et après lui Cavendish, qui ı réussi les premiers à former de l'acide nitrique en fai- ısser une série d'étincelles électriques à travers de l'air ıhérique. Pour faire cette ence, il faut se servir ıbe recourbé en verre 56), de 23 millimètres de re environ, rempli de re, sauf dans sa partie supérieure où on laisse d'air atmosphérique, et

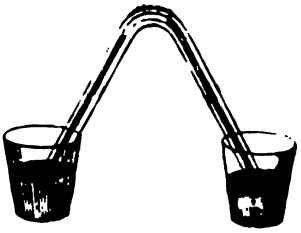


Fig. 256.

ant par ses deux extrémités dans des vases de verre sé- ıntenant également du mercure. On met en communica- ec le sol le mercure de l'un des vases, et celui de l'autre au conducteur d'une machine électrique au moyen de e on fait passer un courant d'étincelles à travers l'air ıns la partie supérieure du tube. A mesure que le vo- e l'air diminue, on en introduit du nouveau. Cavendish, voir opéré avec cet appareil pendant quinze jours, une eure chaque jour, trouva que l'oxygène et l'azote s'é-

taient combinés dans la proportion de sept volumes d'o et de trois d'azote pour produire l'acide nitrique don leurs il était facile de constater la présence, soit par so sur la teinture bleue végétale, soit par la formation d trate de potasse quand on introduisait une solution de dans le tube.

On détermine également par l'étincelle électrique la naison du chlore et de l'hydrogène à volumes égaux pou l'acide hydrochlorique; la combinaison est immédiate avec le mélange explosif, et est accompagnée d'une fo nation.

Les gaz simples ne sont pas les seuls qui forment de naisons quand on fait passer une étincelle électrique à leur mélange. On peut déterminer également de n combinaisons entre un gaz composé et un gaz simple. tableau qui renferme quelques-uns des résultats les plu tants obtenus de cette manière :

2 vol.	oxyde de carbone et	1 vol.	oxygène	donnent	2 vol. bo
2 »	hydrogène protocarboné et	2 »	oxygène	»	2 vol. carb 2 vol. h
2 »	id. id et	4 »	chlore	»	8 vol. droch un dépô bon.
2 »	hydrogène bicarboné et	6 »	oxygène	»	4 vol. bonic un dépô
1 »	cyanogène et	2 »	oxygène	»	2 vol. bonic 1 vol. a
2 »	acide hydrocyanique et	2 ½ vol.	oxygène	»	2 vol. bonic 1 vol. un lé d'eau.

Nous voyons, par ce qui précède, que la même cause termine la décomposition d'un gaz composé peut produ nouvelle combinaison quand ce gaz composé est en p

utre. L'un des phénomènes est une conséquence de , en ce sens que l'étincelle électrique, en troublant par ssage l'équilibre chimique d'un gaz, facilite par consé- la formation de tout nouveau composé. La propriété de elle, ou plutôt de la chaleur qu'elle introduit au sein des les gazeuses, est donc de troubler l'équilibre chimique lement en imprimant aux atomes, suivant la théorie que vons déjà énoncée en une ou deux occasions, un mouve- le rotation plus rapide que celui qu'ils possèdent à la ature ordinaire.

t facile de prouver que c'est bien à la chaleur qu'est due priété que possède l'étincelle de déterminer les combinai- assi bien que les décompositions ; il n'y a qu'à remplacer appareil (fig. 256) les deux pointes de platine par un fil continu du même métal qui traverse le tube ; en le faisant au moyen d'un courant électrique, on obtient les mêmes le combinaison qu'avec l'étincelle.

circonstance qui influe sur la facilité des gaz à se com- par l'effet de l'étincelle électrique est leur densité. Grot- a trouvé qu'un mélange de chlore et d'hydrogène ne e plus quand il est réduit par la raréfaction au sixième lensité. Il faut pousser cette raréfaction jusqu'au delà du e de sa densité, pour faire perdre au mélange d'hydro- t d'oxygène sa faculté détonante. La raréfaction résultant évation de la température produit des effets semblables, prouve que l'augmentation de la chaleur ne compense faiblissement qui résulte, dans l'action mutuelle des les, de leur plus grand écartement mutuel. Il en serait trement si, en réchauffant les gaz, on les empêchait de er de manière que leur force élastique seule, et non leur , pût s'accroître ; il est bien probable qu'alors l'action ncelle électrique, pour déterminer leur combinaison, acilitée. Des expériences de ce genre n'ont jamais été elles mériteraient d'être tentées.

pendamment des effets chimiques que l'électricité pro- directement sur les gaz par la chaleur qu'elle fait péné- ns leurs particules, M. Grove a trouvé qu'elle peut en

déterminer de plus directs et qui semblent, jusqu'à un certain point, être électrolytiques. C'est en faisant usage des courants d'induction produits par l'instrument de Ruhmkorff[1] qu'il est parvenu aux résultats intéressants que nous allons décrire. Les expériences étaient faites au moyen d'un appareil semblable à celui de la figure 220. Une plaque d'argent fut placée sur le support de la cloche, et une aiguille d'acier fut fixée à l'extrémité de la tige à une distance de 2 à 3 millimètres environ de la plaque. Le courant d'induction était transmis de la plaque à l'aiguille; le milieu était de l'air raréfié à 18 millimètres environ, mélangé avec de l'hydrogène et un peu de vapeur d'eau; on vit se former sur la plaque, quand elle fut positive, une tache circulaire d'oxyde d'argent présentant successivement des teintes jaune, orangée ou bleue. Le sens du courant étant renversé, la tache disparut et la surface de l'argent redevint parfaitement nette; on pouvait toutefois encore distinguer la place qu'avait occupée la tache. Dans l'air raréfié sans mélange d'hydrogène, l'oxydation avait lieu quel que fût le sens du courant, mais elle était plus rapide quand la plaque était positive. Dans l'hydrogène pur raréfié, il n'y avait aucune oxydation, mais la surface de la plaque finissait par se dépolir légèrement. L'azote se conduisit comme l'hydrogène; quand il était parfaitement pur, il n'y avait pas trace d'oxydation; mais dès qu'il était mélangé avec un peu d'oxygène, alors la plaque, quand elle était positive, commençait à s'oxyder. L'aiguille d'acier fut remplacée par des fils de cuivre, d'argent et de platine, sans que les phénomènes fussent sensiblement modifiés. En substituant à la plaque d'argent des plaques de bismuth, de plomb d'étain, de zinc et de fer, on obtint des effets semblables, à l'intensité près. Le platine seul n'éprouva aucun effet.

Pour mieux étudier la formation des taches, M. Grove, après quelques essais, opéra avec une atmosphère raréfiée comme dans les expériences précédentes, et formée d'un mélange d'un volume d'oxygène et de quatre d'hydrogène. La plaque fut rendue positive, et l'on amena l'extrémité inférieure de l'aiguille d'acier à

[1] Tome I, page 395, fig. 150.

tances de la plaque successivement égales à 0mm 51; , 1mm 52, 2mm 03, 2mm 54; on obtint ainsi successive- es apparences *a*, *b*, *c*, *d*, et *e*, de la fig. 257. La couleur che centrale était jaune verdâtre au centre, et bleue ver- sur les bords; ensuite venait un anneau d'argent non puis un anneau circulaire rouge cramoisi, tirant vers

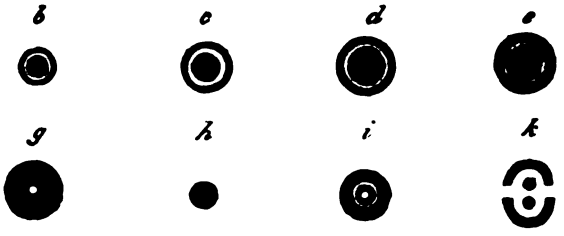


Fig. 257.

é sur le bord intérieur, et vers le pourpre foncé sur le xtérieur. Quelquefois, au milieu de la tache centrale, on un petit espace circulaire où l'argent paraissait parfaite- oli (fig. 257, apparences *f* et *g*), et qui se produisait quand ue était négative, ce petit espace était entouré d'une au- ombre et mal définie. Les taches *h* et *i* proviennent, la pre- de la décharge transmise par un fil de platine enfermé n tube de verre, à la manière de Wollaston, décrite plus a seconde, de la décharge transmise par une aiguille d'a- plaque d'argent était positive, les distances parcourues décharges étaient de 2 millimètres, le récipient conte- mélange de 1 volume d'oxygène et de 5 d'hydrogène, e pression de 12 millimètres. Enfin l'apparence *k* est le d'une expérience dans laquelle un fil de cuivre de mètre de diamètre avait été fixé avec de la cire dans une horizontale à $\frac{1}{4}$ millimètre au-dessus de la plaque d'ar- extrémité du fil de platine était elle-même à $\frac{1}{4}$ milli- m-dessus du fil de cuivre. On voit que l'interposition du uivre a partagé la tache en deux portions égales, séparées intervalle qui est resté net.

phénomènes décrits par M. Grove sont analogues en

partie à ceux que j'avais observés en opérant de la même m: nière, mais au moyen d'une pile à haute tension [1]; ils soı seulement plus nombreux et plus variés; toutefois, j'avais r marqué la formation de la tache bleue circulaire, même si une lame de platine dans de l'air raréfié, et sa non apparitio dans une atmosphère d'hydrogène. Tous ces effets me parai sent provenir essentiellement de la température élevée qu'éprou vent les points des conducteurs métalliques d'où sort l'électr cité positive, jointe à la propriété plus oxydante que le passag de la décharge développe chez l'oxygène, et dont l'étude fa l'objet du paragraphe suivant Quant aux effets de réductio par l'hydrogène, ils sont également faciles à comprendre ; (qui l'est moins, c'est de savoir pourquoi, dans une atmosphèı d'hydrogène et d'oxygène dans laquelle ce dernier gaz est e petite proportion, la plaque ne s'oxyde qu'autant qu'elle e: positive, et non quand elle est négative. Quand l'oxygène e: plus abondant, elle s'oxyde aussi bien que dans l'air atmosph rique. Serait-ce que, sous l'influence des décharges, l'oxygèn et l'hydrogène acquerraient, par l'effet d'une polarisation pa ticulière, une tendance à se rendre, l'un à l'électrode positif l'autre au négatif? M. Grove serait disposé à admettre cett opinion, et à reconnaître par conséquent dans les gaz une espèc de polarité électro-chimique. Je présume plutôt que la diffé rence de température qui se manifeste entre les deux électrodes jointe à la propriété qu'acquiert l'oxygène, peuvent rendr compte de ces oxydations et de ces réductions que nous voyon si fréquemment en chimie se succéder facilement les unes au autres par l'effet de la plus légère variation de température.

M. Grove a fait encore une observation importante, c'est qu lorsqu'on fait les expériences qu'il a décrites, dans certaine vapeurs telles que celles de phosphore et d'autres, on voit l lumière électrique sillonnée de bandes obscures transversales il faut avoir soin seulement de placer l'aiguille à 25 millimètre environ de la plaque. Ce phénomène est tout à fait identique celui qu'a étudié M. Quet, et dont nous avons parlé dans l

[1] Tome II, page 231.

re précédent[1]. Jusqu'à quel point est-il lié à un effet chi-
exercé sur l'atmosphère de vapeurs par la décharge,
directement par la chaleur, soit directement par l'élec-
e? c'est ce qu'il est impossible de dire dans l'état actuel
science. Ce qu'il y a d'assez remarquable, c'est cette coïn-
e entre la formation des anneaux alternativement bril-
et obscurs sur la surface des électrodes, et l'apparition
'atmosphère de vapeurs, de bandes également alternati-
nt lumineuses et obscures; ce qui semblerait indiquer
es deux cas également une espèce d'effet d'interférence,
conséquent une liaison entre les deux sortes d'apparence.
ns ne terminerons pas ce paragraphe sans dire quelques
d'un phénomène mixte qui tient à la fois aux effets chi-
s et calorifiques de l'électricité dynamique; il s'agit de
ndescence des fils métalliques qui servent d'électrodes
les liquides ou dans les fluides élastiques. Hare l'avait
té d'une manière très-frappante en plongeant dans une
on de chlorure de calcium un fil de fer comme électrode
if, et un fil de platine plus fin comme électrode positif; le
l fondait en globules; en changeant les fils de place, le
mène n'avait pas lieu. Mackrell avait obtenu des effets
ème genre avec des fils de différente nature plongés dans
e sulfurique étendu. Il avait réussi à faire rougir dans le
e des fils de fer et de cuivre sur une longueur de 4 à
imètres; l'effet dépendait de la position du fil au pôle
ou au négatif, et du fait que l'un des deux était immergé
nier ou le second. Quand les deux électrodes étaient formés
es de platine, l'électrode positif se réchauffait beaucoup
sentait de temps à autre, sur sa tranche, une lumière
re; lorsque l'électrode négatif était mis le dernier en
t avec le liquide, il ne donnait aucune lumière, mais fai-
tendre de petites explosions.
re a fait sur ce sujet quelques expériences intéressantes
ne énorme batterie de 500 couples que M. Gassiott avait
nstruire. Une lame de platine, formant l'électrode positif

[1] II, page 216.

de la batterie, était plongée dans une capsule d'eau distillée dont on avait élevé la température. L'électrode négatif, formé d'un fil de platine, était rapproché de manière à toucher un instant la surface de l'eau, et retiré immédiatement à une distance d'environ 7 millimètres dès que la décharge avait lieu; l'extrémité du fil était mise en fusion, et le platine fondu y restait comme suspendu au milieu de l'air ambiant, en dégageant une lumière intense, lançant des étincelles dans des directions contraires à celle de l'eau, et il ne se détachait du fil que quand on le secouait. L'eau à l'état de vapeur était décomposée, car l'électrode positif dégageait des gaz, et l'action moléculaire exercée sur le platine négatif ressemblait tout à fait aux courants qu'on observe à la surface du mercure quand on le rend négatif dans un électrolyte. Toutefois, comme les gaz produits n'ont pas été recueillis, il est impossible de décider si la décomposition est une véritable électrolyse ou simplement un effet de la haute température du platine, ce qui paraît plus probable.

M. Quet, de son côté, a réussi au moyen d'une pile de 40 grands couples de Bunzen à obtenir sur les éléctrodes de platine une vive lumière, en décomposant l'eau, ou acidulée, ou tenant de la potasse en dissolution. Le fil de platine n'est pas incandescent, mais il est comme entouré d'une gaîne de lumière qui semble le séparer de l'eau voisine. Dans l'acide sulfurique étendu, la lumière de l'électrode négatif est violette et celle du positif est rouge; dans la solution de potasse, celle de l'électrode négatif a une belle teinte rose. Lorsque le phénomène lumineux se produit, la décomposition de l'eau, qui était très-vive, se ralentit beaucoup; elle se ranime dès que l'illumination cesse. L'électrode négatif est en général celui qui s'illumine le plus facilement. Avec une pile comparativement faible, on obtient, en approchant délicatement de la surface du liquide où plonge l'électrode positif, l'extrémité d'une tige de platine qui sert d'électrode négatif, une lumière violette autour de cette extrémité, avec un léger bruit de crépitation; il faut que la tige ne fasse que toucher le liquide, ou ne s'y enfonce que de 1 millimètre.

Dernièrement encore, M. Van der Willigen, en opérant avec

sulfurique étendu et concentré, ou avec des solutions de
re de sodium, de sulfate de potasse, etc., a remarqué
nce que pouvait avoir, sur l'effet calorifique et lumineux
nifeste l'un des électrodes, le fait qu'il est plongé le pre-
i le dernier; il a pu s'assurer que ces phénomènes très-com-
dans lesquels les fils, tantôt deviennent incandescents,
ont simplement entourés d'une auréole lumineuse, tien-
e qu'il arrive dans certains cas qu'ils ne sont pas en contact
liquide, à cause de leur température élevée qui donne
ide ambiant l'état sphéroïdal. Dans d'autres cas, les pro-
e la décomposition éprouvent eux-mêmes une incandes-
ou une combustion qui imprime à la lumière une teinte
ilière. Enfin, la chaleur elle-même se combine avec l'ac-
ectrolysante pour décomposer le conducteur liquide, qui
ui-même, aussi bien qu'un conducteur solide, former
ode d'un arc voltaïque. Du reste, tous ces effets auraient
d'être analysés avec encore plus de soin qu'on ne l'a fait,
u'on pût bien y distinguer la part d'influence qui appar-
l'action chimique du courant, de celle qu'y exerce la cha-
ème que développe le courant, soit en produisant l'arc,
réchauffant les fils; il paraît bien probable qu'on n'y
rait aucune particularité qui ne fût la conséquence facile
ir des phénomènes que nous avons décrits, soit dans ce
e, soit dans le précédent.

§ 7. Production et propriétés de l'ozone.

it de terminer l'étude des effets chimiques de l'électricité
ique, il est nécessaire de consacrer quelques instants à
n de l'un des plus remarquables, je veux parler de l'o-
oitié sulfureuse, moitié phosphorique qui accompagne
gement d'électricité dans l'air par les machines électri-
dinaires, et qu'on retrouve à l'électrode positif quand on
pose de l'eau au moyen d'un fort courant électrique. C'est
chenbein qu'on doit d'avoir, par ses études approfondies
point particulier qui avait échappé à l'attention des phy-

siciens, mis sur la voie qui les a conduits à découvrir l
ture même de ce phénomène.

Priestley, Cavendish et Van-Marum avaient bien rem
que les gaz éprouvaient des modifications considérabl
suite du passage des étincelles électriques, et en particu
avaient signalé, comme nous l'avons dit, la formation de
nitrique quand le gaz était un mélange d'oxygène et d'a
que le présente l'air atmosphérique. Van-Marum cependa
faisant passer une succession d'étincelles électriques d
tube plein d'oxygène de 14 centimètres de longueur, e
conducteur métallique situé au haut du tube et un bain
cure situé à la partie inférieure, avait remarqué que le g
pris une odeur très-forte qu'il disait être celle de la
électrique. De plus, en opérant avec un tube étroit et plu
il remarqua que le mercure s'était fortement oxydé à sa
et que le volume de l'oxygène avait diminué; mais on
attribuer ces effets à la formation de l'acide nitrique,
rien ne prouvait que l'oxygène fût bien pur et ne con
d'azote.

M. Schœnbein, soixante ans plus tard, ayant voulu s
compte de la cause de l'odeur qui accompagne la décom
voltaïque de l'eau, observa que cette odeur ne se ma
qu'à l'électrode positif et qu'autant que cet électrode n'
oxydable, c'est-à-dire qu'il était de platine ou d'or. Il
que l'odeur existe encore quand on recueille les gaz n
et qu'elle peut se conserver aussi longtemps qu'on le veu
l'oxygène ou le mélange d'oxygène et d'hydrogène qui l
dent sont renfermés dans des flacons bien bouchés. 1
électrolytes ne sont pas également propres à développer
cipe odorant; l'eau distillée et les solutions des acide
sels oxygénés le dégagent facilement; mais il n'en es
même de l'acide nitrique concentré et des solutions
rures, de bromures, d'iodures, non plus que de celle du
de protoxyde de fer. Il suffit, pour faire disparaître l'o
jeter dans le flacon où est le gaz qui en est imprégné q
pincées de poussière de charbon, de limaille de fer,
d'étain, de plomb ou d'arsenic, ainsi que du bismuth ou

ine en poudre ou même quelques gouttes de mercure. Le
e effet est produit par de petites quantités de solutions
uses de chlorures de fer ou d'étain, de sulfate de protoxyde
r ou de quelques gouttes d'acide nitreux. La simple éléva-
de température produit le même effet; aussi ne se déve-
e-t-il point d'odeur quand on chauffe le liquide électroly-
lors même, ainsi que je l'ai observé, que c'est le courant
equel la décomposition s'opère qui le réchauffe. J'ai égale-
t remarqué que, quoiqu'il faille en général une forte pile
que l'odeur qui accompagne l'électrolyse se manifeste, on
l'obtenir avec un courant très-faible en ayant soin de
dre pour électrode positif, dans l'eau acidulée, un fil de
ne inséré dans un tube de verre suivant la méthode de
aston fig. 241, p. 352.
ne propriété importante du gaz imprégné de l'odeur, et qu'il
sede plus dès qu'on lui a enlevé cette odeur, c'est la fa-
é qu'il a de polariser négativement des fils ou des lames de
ne ou d'or qu'on y place, c'est-à-dire de leur imprimer la
priété de développer, en étant plongés dans de l'eau conduc-
avec un fil ou une lame semblable, mais qui n'ont pas été
ntact avec le principe odorant, un courant électrique dont
nt l'élément négatif.
hœnbein a observé qu'on pouvait donner la même propriété
latine et à l'or en recevant sur des lames bien propres de
ou de l'autre de ces deux métaux, l'électricité émanée de
ointe émoussée d'un fil métallique en communication avec
nducteur d'une machine électrique et placée à 2 ou 3 cen-
tres de distance des lames. Peu importe que ce soit l'une
autre des électricités qui sorte du conducteur, l'effet est le
e sur la lame; mais le phénomène ne se manifeste pas si,
étal étant en communication directe avec le conducteur,
tricité sort de la lame au lieu d'être reçue par elle. Le pla-
et l'or perdent immédiatement leur polarité sous l'action
chaleur, ou si on les plonge quelques instants dans une
osphère d'hydrogène; seulement dans ce dernier cas ces
aux peuvent acquérir une polarité opposée, lorsqu'on les
e trop longtemps dans l'hydrogène.

L'odeur accompagne toujours la polarisation des m aussi ne remarque-t-on ni odeur, ni polarisation qu pointes d'où sort l'électricité sont chauffées ou entourée couche d'eau; il suffit même d'envelopper la pointe mé d'un petit morceau de toile humectée d'eau distillée pc pêcher la production de l'odeur.

Ces premières observations établissent déjà une gran logie entre le principe odorant dégagé dans l'électrolyse et celui qui est produit par l'électricité des machines ord il paraît également probable qu'il est identique avec c se manifeste dans les nuages et en particulier dans le v d'un lieu que la foudre a frappé. Il est de plus évident gazeux et qu'il est un produit de l'action de l'électrici milieu ambiant qui ne peut être que l'oxygène, l'az vapeur d'eau; nous l'appellerons *ozone*, avec M. Sch sans rien préjuger pour le moment sur sa nature ch uniquement à cause de l'odeur particulière et très-pı qu'il possède.

Conduit par des analogies tirées de l'odeur, M. Schœn couvrit un moyen chimique de préparer l'ozone. Ce mo siste à placer un morceau de phosphore dans un vas d'air ordinaire. Si la température est assez élevée pou phosphore devienne lumineux, l'air du flacon prend une odeur d'ozone très-distincte de celle du phosphore tôt de l'acide phosphorique qui se dégage en commen air présente les mêmes phénomènes que s'il avait été s l'action de l'électricité, savoir, que les lames de platin sont polarisées négativement, et qu'il perd ses propriét on y agite de la limaille de fer ou d'un autre métal oxyd phosphore, dans l'oxygène pur et bien sec où il ne dev lumineux, ne produit pas d'ozone; il faut pour cette pr qu'il soit phosphorescent, et pour cela qu'il soit placé mélange d'oxygène et d'azote et à une température qu pas trop basse.

Indépendamment de ces propriétés fondamentales, quelle que soit la manière dont on le prépare, en po grand nombre d'autres dont voici les principales. Il agi

s végétales comme le chlore, c'est-à-dire qu'il les dé-
blanchit les papiers colorés qu'on plonge dans le gaz
ontient. Et cela a lieu également que l'ozone ait une
chimique ou électrique, et que cette origine électrique
ne de l'électrolyse, de l'action de la machine électrique,
electricité atmosphérique. Il en est de même pour tous
s chimiques de l'ozone, et en particulier pour l'un des
marquables, savoir, l'action qu'il exerce sur l'iodure de
um qui l'absorbe en libérant l'iode, ce que rend sensible
gement de couleur. En effet, si on mélange de la colle
ou avec une petite quantité d'une solution d'iodure de
um, et qu'on y plonge une bande de papier, on obtient
tif de l'ozone qui surpasse de beaucoup en délicatesse le
r galvanomètre ou l'odorat le plus fin. Une quantité
trop faible pour polariser un métal d'une manière sen-
pour être accusée par l'odorat, suffit encore pour bleuir
manière prononcée le papier réactif.
ne pouvons suivre M. Schœnbein dans l'étude détaillée
faite des diverses réactions chimiques de l'ozone, soit sur
stances inorganiques, soit sur des composés organiques;
uvons seulement, sans entrer dans plus de détails, dire
manière générale que l'ozone se comporte toujours, et
rticulièrement à l'égard des gaz composés et des corps
, absolument comme le chlore ou le brôme.
ure de potassium permet de découvrir les plus faibles
'ozone dans l'air atmosphérique. Il n'y a qu'à suspendre
air de petites bandes de papier à filtrer humectées du
e d'iodure et d'amidon, et le plus souvent au bout de
s minutes on les voit bleuir, tandis qu'elles ne se colo-
int dans des vases fermés hermétiquement et remplis
n trouve également de l'ozone dans l'eau d'orage, car
u se conduit exactement comme de l'eau distillée dans
on a dissout de l'ozone. Il faut seulement dans ces
s, pour dégager l'ozone, verser un peu d'acide sulfuri-
s l'eau; aussitôt elle colore en bleu la colle d'iodure
um; il paraîtrait que l'ozone forme avec l'eau pure un
é que détruit la présence de l'acide sulfurique. On peut

communiquer exactement toutes les propriétés de l'eau d'orage à de l'eau distillée placée dans une tasse et mise en communication avec le sol, pendant qu'on l'expose à l'action d'une aigrette électrique énergique et qui répand une forte odeur. Il faut que cette exposition dure au moins une demi-heure pour que l'eau soit suffisamment ozonée.

Sans nous arrêter aux différentes hypothèses qui ont été faites sur la nature de l'ozone, nous passerons immédiatement aux expériences de M. Marignac, qui ont les premières résolu la question d'une manière péremptoire. Ce savant chimiste a d'abord démontré que la présence de l'azote n'était point, comme l'avait d'abord cru M. Schœnbein, indispensable à la production de l'ozone. En effet, en décomposant de l'eau aiguisée d'acide sulfurique dans un appareil tenant exactement le vide, et où aucune trace d'air ne pouvait rentrer, l'odeur d'ozone était la même qu'au premier instant, après que l'expérience avait déjà marché pendant plusieurs jours et que le quart de l'eau avait été décomposé; il faut seulement avoir soin de maintenir à une basse température le flacon où la décomposition a lieu[1]. Du reste, M. Marignac a trouvé que la manière la plus commode d'obtenir l'ozone consiste à diriger un courant d'air, au moyen d'un gazomètre, au travers d'un tube long de 1 mètre et de 6 millimètres de diamètre, renfermant dans sa longueur une série de bâtons de phosphore. Il a constaté, au moyen de cet appareil, que ni l'oxygène ni l'azote purs ne produisent d'ozone, mais que l'oxygène mélangé non-seulement à l'azote, mais

[1] M. Soret a trouvé plus tard que la quantité d'ozone obtenue par l'électrolysation de l'eau acidulée augmentait dans une proportion très-forte avec l'abaissement de la température. Ainsi en entourant le voltamètre d'un mélange frigorifique de glace et de sel marin et encore mieux de chlorure de sodium, le gaz qui s'en échappait était tellement ozoné qu'il attaquait et perçait rapidement les tubes en caoutchouc qui réunissaient les tubes desséchants qu'il devait traverser. En dosant l'ozone au moyen d'une dissolution titrée d'acide arsénieux qui a, comme le chlore, la propriété de le transformer en acide arsénique, M. Soret a trouvé une proportion d'ozone s'élevant à près de 0,005 du volume d'oxygène, en refroidissant le voltamètre assez pour que la température fût encore de — 7° à la fin de l'expérience; cette même proportion était au plus de 0,003 quand le voltamètre n'était pas refroidi.

me à l'acide carbonique et à l'hydrogène, en développe. r atmosphérique parfaitement sec n'en dégage point; le sphore se recouvre dans ce cas d'une croûte blanche, et ne ient point phosphorescent; or, sa phosphorescence est une dition nécessaire pour qu'il y ait production d'ozone.

l. Marignac, en soumettant l'ozone à différentes épreuves, marque d'abord qu'il est détruit en passant à travers un tube ffé à 300 ou 400 degrés, qu'il n'éprouve aucune altération la part de l'eau, de l'acide sulfurique concentré, de l'ammoque et de l'eau de baryte; mais il est absorbé avec la plus nde facilité par l'iodure de potassium dissous; la liqueur nit; une portion de l'iode est mise en liberté et entraînée par bourant d'air; lorsque tout l'iodure est décomposé, l'odeur zone apparaît, et la liqueur redevient incolore et ne renferme s que de l'iodate de potasse mélangé avec un peu de carbo-a. Les métaux absorbent également l'ozone; ainsi, en faiit passer de l'air ozoné à travers un petit tube de 10 à centimètres de longueur rempli d'argent pur et poreux, on ve que cet air perd complétement son odeur et ses propriétés, e l'argent se transforme en une matière qui a tous les caracs de l'oxyde d'argent; mais la présence de l'humidité est ispensable; si l'air ozoné est complétement desséché par passage à travers plusieurs tubes remplis de pierre ponce régnée d'acide sulfurique, il n'attaque ni l'argent ni le ve, ni même le zinc, et il ne perd plus son odeur.

s expériences, et d'autres encore, ne permettaient plus que hoisir entre deux hypothèses sur la nature de l'ozone : l'une c'est un composé nouveau d'hydrogène et d'oxygène susceptde se transformer avec grande facilité en oxygène et en eau, apable de céder son oxygène à un grand nombre de corps; tre qu'il n'est qu'une modification particulière de l'oxygène suite de laquelle ce gaz acquiert, avec une odeur particu-, la propriété de se combiner avec des corps sur lesquels il ans action dans son état ordinaire. Cette dernière hypothèse elle que nous fûmes conduits à admettre, M. Marignac et , à la suite d'expériences dans lesquelles nous essayâmes de mettre à des décharges électriques divers gaz que nous fai-

sions successivement arriver dans un tube de verre de 1
mètres de longueur et de 1c, 5 de diamètre, communiqu
côté avec les appareils destinés à produire le courant du
nous voulions étudier, et de l'autre avec un flacon da
on pouvait examiner les propriétés que ces gaz avaient a
Deux fils de platine pénétraient par les extrémités du
verre, et se terminaient dans son intérieur à 9 ou 1
mètres l'un de l'autre. L'un de ces fils était mis en co
cation avec le sol, l'autre avec le conducteur de la ma
était indifférent que la charge se fît par une successio
celles ou par un courant continu et invisible. On a
facilement la formation de l'ozone au moyen de son
de son action sur le papier imprégné d'amidon méla
dure de potassium. Or, l'expérience faite avec de l'air
parfaitement desséché donna un développement d'oz
grand que lorsque l'air était humide; l'ozone se d
également avec la plus grande facilité dans l'oxygèn
tement pur et sec, tel qu'on le retire du chlorate d
purifié et préalablement fondu. Il ne se formait poin
dans l'acide carbonique pur, sec ou humide, mais il
duisait dès qu'on mélangeait à l'acide carbonique
petite quantité d'air ou d'oxygène.

M. Schœnbein, à la suite de nouvelles recherches, e
lui-même à adopter l'opinion à laquelle nous avions
duits, M. Marignac et moi, que l'ozone n'est qu'une
tion de l'oxygène qui exalte ses affinités chimique
fondé surtout pour renoncer à l'opinion que c'est un
d'hydrogène, sur le fait qu'une masse d'air ozoné, e
sant un tube chauffé à 300°, est désozoné sans produi
Il a aussi démontré que, traité par un alcali, l'air o
duit toujours un azotate à cause de la facilité que l'o
l'état d'ozone possède à se combiner avec l'azote.

MM. Frémy et E. Becquerel ont également, à la
longues et rigoureuses recherches, achevé de démon
l'ozone est une modification allotropique de l'oxyg
l'électricité. Ils ont successivement employé, pou
l'ozone, la décomposition de l'eau par les courants éle

n sur l'air ou sur l'oxygène des étincelles obtenues par
ture d'un circuit voltaïque, de celles que produit un appa-
induction, enfin de celles qu'on tire des machines élec-
s ordinaires. Le premier moyen produit trop peu d'ozone;
ncelles voltaïques sont accompagnées d'un dégagement
leur qui détruit l'ozone à mesure qu'il se produit; il en
même, quoiqu'à un moindre degré, des étincelles d'in-
n; on a donc dû renoncer à ces moyens d'obtenir l'ozone
recourir à l'action des étincelles des machines ordinaires.
ux physiciens ont reconnu que l'oxygène, quelle que soit
rce d'où il provienne, est susceptible d'être ozoné, et que
qui, en traversant l'iodure de potassium, a été désozoné,
le nouveau être ozoné. Mais le point le plus important
ceux qu'ils ont établis, est qu'une quantité donnée d'oxy-
peut être entièrement convertie en ozone, et que si, dans
périences antérieures, on n'avait jamais réussi à ozoner
e portion du gaz soumis à l'expérience, c'est que probable-
l'étincelle électrique, par son action calorifique, détruisait
ande partie l'effet d'ozonification qu'elle avait produit
oxygène. Pour éviter cet inconvénient, il fallait absorber
e à mesure qu'il se formait; dans ce but, de l'oxygène
été introduit dans un tube eudiométrique placé lui-
sur une dissolution d'iodure de potassium : le gaz a été
s à l'action des étincelles électriques passant entre les fils
tine logés au haut du tube; il y avait plusieurs tubes
ables dont les diamètres étaient de $2^{mm}5$, et la longueur
) millimètres; les étincelles avaient environ 15 millimè-
: longueur. L'oxygène a été absorbé d'une manière régu-
ar l'action des étincelles électriques; après trois heures
risation, le liquide était monté de 2 centimètres dans l'in-
r du tube; l'absorption était en général proportionnelle
ps de l'électrisation; en prolongeant l'expérience pendant
ps suffisamment long, on pouvait faire absorber l'oxy-
omplétement par l'iodure de potassium. Un résultat assez
ux a été obtenu en faisant passer la même quantité d'élec-
dans deux tubes placés à la suite l'un de l'autre et sem-
s en tout point, sauf que, par la disposition des fils de

platine, les étincelles étaient de 25 millimètres de l
dans l'un, et seulement de 4 à 5 dans l'autre; après troi
d'électrisation, l'absorption d'oxygène a été double dan
mier de ce qu'elle a été dans le second, ce qui prouve
une même quantité d'électricité, qui traverse une mêt
de gaz, une longue étincelle produit plus d'effet qu'
celle plus courte [1]. Une lame d'argent, introduite dan
eudiométrique placé sur l'eau et rempli d'oxygène p
sorbé comme l'iodure de potassium, mais plus lente
lui, l'oxygène électrisé, et l'absorption a eu lieu jusq
parition complète de tout le gaz. Le mercure, sous l'
de l'humidité, a produit le même effet et s'est égaleme

Parmi les expériences multipliées de MM. Frémy e
querel, nous citerons encore les suivantes dans lesque
introduit de l'oxygène pur dans des tubes effilés conte
de l'iodure de potassium humide, et l'autre une p
d'argent recouverte d'humidité, ils ont fait passer
d'étincelles électriques dans l'intérieur de ces tubes
avoir fermés à la lampe à leurs deux extrémités. Le p
tubes contenant l'argent humide a été électrisé pend
jours à raison de six heures par jour, c'est-à-dire, en
dant vingt-quatre heures; la lame s'est couverte d'o
gent, et en cassant ensuite l'une des extrémités du
l'eau, on a constaté une absorption égale aux deu
volume d'oxygène soumis à l'expérience. L'absorp
totale dans le second tube contenant l'iodure de potassi
après dix-huit heures d'électrisation, l'étincelle qui a
coup d'éclat était à peine visible, preuve que le vide
près complet dans le tube; après vingt-quatre heure
ayant été cassé à l'une de ses extrémités sous l'eau, c
est aussitôt précipitée et l'a totalement rempli.

Il paraît donc bien établi maintenant que l'élec
agissant sur l'oxygène lui imprime des propriétés qu

[1] Ne serait-il pas possible que ce résultat tînt à la fois à ce q
étincelle agit dans le même temps sur un plus grand nombre de
à ce qu'elle développe d'un autre côté moins de chaleur que la cou

pas avant d'être électrisé, et qui se manifestent par une particulière et par une exaltation dans son activité chi-:. Il est assez probable que l'action du phosphore est aussi ction électrique provenant du dégagement d'électricité it accompagner la combinaison d'une partie de l'oxygène e corps, et qui se manifeste par sa phosphorescence.

nt à la nature de l'action que l'électricité exerce sur ène pour l'ozoner, c'est encore un mystère; il ne serait sposible qu'elle consistât à isoler les uns des autres les s d'oxygène qui, dans l'état ordinaire, seraient groupés nière à former des molécules composées d'un plus ou grand nombre de ces atomes. On concevrait qu'isolés les atomes auraient une activité chimique plus grande rsqu'ils sont agglomérés. Ce serait l'*état naissant*. Cette iété de l'oxygène de former des molécules composées d'a-groupés ensemble, se concilierait assez bien avec la vertu étique que possède ce gaz et qu'il est seul à posséder[1]. il est prématuré de se livrer à des hypothèses sur les-s l'expérience pourra seule prononcer, et dont nous serons s d'ailleurs à nous occuper encore plus tard.

nons-nous à signaler deux écueils dans lesquels sont s et risquent de tomber les physiciens qui s'occupent de e, l'un, c'est de croire y voir un composé nitreux, ce qui la difficulté qu'il y a à exclure la présence de l'azote, le suffit en effet pour déterminer la formation d'un com-mblable; l'autre, c'est de croire que l'ozone est un oxyde ogène à cause de l'eau que l'oxygène, quoique parfaite-lessèché, peut encore déposer en étant désozoné. M. Bau-avait cru même pouvoir conclure de là une différence l'ozone obtenu par l'électrolysation de l'eau et celui qui nt de l'électrisation de l'oxygène par les étincelles, ad-nt que le dernier est bien une modification allotropique xygène, mais que le premier est un oxyde d'hydrogène. dant il est facile d'expliquer la présence d'une petite ité d'humidité dans l'oxygène qui provient de l'électro-

me I, pages 491 et suiv.

lysation de l'eau, par la faculté avec laquelle l'hydro
se mélanger avec lui et par conséquent former de l'ea
quand on songe qu'il ne s'agit que d'une production
ligrammes d'eau dans des opérations qui ont duré sans
tion, l'une six, l'autre huit jours.

Nous ne nous étendrons pas sur les conséquences
tent de la production et des propriétés de l'ozone dans l
positions électro-chimiques des substances dont l'oxyg
des éléments. Nous n'en signalerons qu'une qui est p
plus importante, savoir : la formation de l'eau oxyg
l'électrolyse de l'eau acidulée, et par conséquent l'in
qui en résulte dans les indications des voltamètres c
M. Meidinger a étudié les circonstances qui facili
formation en facilitant celle de l'ozone; c'est d'abord
de concentration de l'eau acidulée; avec de l'acide
de la densité 1, 4, il obtient dans 6 minutes, 24
d'hydrogène pour 87 d'oxygène, tandis qu'avec
de 1,07 seulement de densité, il obtient dans 19 m
proportions voulues de 244 hydrogène et 122 oxy
ensuite la forme de l'électrode positif; en prenant
électrode un fil au lieu d'une lame de platine, il obti
sures seulement d'oxygène pour 253 d'hydrogène.
la force du courant et l'abaissement de température
circonstances qui diminuent aussi notablement la pro
l'oxygène par rapport à celle de l'hydrogène. Cette d
plus ou moins considérable dans la quantité voulue
est accompagnée d'une odeur d'ozone qui montre l
tion de ce corps; mais il est facile de constater, en
le liquide, que la plus grande partie de l'ozone dé
employée à former le bioxyde d'hydrogène qui se
l'état de dissolution dans le liquide électrolytique. L
de ce bioxyde rend ce liquide très-impropre à se
expériences voltamétriques, car il donne alors une
d'hydrogène moindre que celle que dégage un autre
chargé avec un liquide qui n'a pas servi et qu'on m
même circuit. Il faut donc changer le liquide du
quand il a servi un certain temps ou le faire bou

soin pour en chasser le bioxyde d'hydrogène. En général, si l'on veut que les indications du voltamètre soient exactes, c'est-à-dire que les gaz se dégagent bien dans les proportions rigoureuses, il faut, afin d'éviter la production de l'ozone, se servir d'une eau acidulée plutôt faible (1, 1 de densité), faire dégager l'hydrogène sur un fil, et l'oxygène sur une lame de platine qui ne soit pas trop petite.

Liste des principaux travaux relatifs aux sujets traités dans ce chapitre :

Nicholson et Carlisle. — Décomposition de l'eau. — *Bibl. Brit.* T. XV, p. 11.

Cruikshanks. — Décomposition des sels. — *Bibl. Brit.* T. XV, p. 23.

Davy. — Pouvoir chimique de l'électricité voltaïque, etc. — *Bibl. Brit.* — T. XXXIV, p. 397, p. 16; t. XXXVI, p. 391; t. XXXIX, p. 3; t. XLI, p. 33. — *Annales de ch.* T. LXII, p. 172, et t. LXVIII, p. 203; t. LXX, p. 189, et 225.

Gay-Lussac et Thénard. — Causes qui facilitent les décompositions électro-chimiques. Recherches physico-chimiques, 2 vol. in-8°, *Paris*, 1811, *Annales de ch.* T. LXXXVIV, et LXXIX.

Hisinger et Berzelius. — Transport dans les décompositions électro-chimiques. — *Annales de ch.* T. LI, p. 167.

Grotthus. — Théorie des décompositions électro-chimiques. — *Annales de ch.* T. LVIII, p. 54. — Influence de la densité sur les mélanges explosifs. — *Idem.* T. LXXXII, p. 34.

Faraday. — Conditions nécessaires pour l'électrolyse; loi électrolytique. — *Recherches expérimentales sur l'électricité du § 380, au 852.* — *Trans. phil.*, (1833 et 1834). — *Bibl. univ.* T. LV, p. 20, et p. 394; t. LVII, p. 305; t. LVIII, p. 263.

Daniell. — Mode de décomposition des solutions salines. — *Bibl. univ.* (*nouvelle série*, 1839). T. XXIV, p. 386. — *Arch. de l'électr.* T. I, p. 694, et t. IV, p. 259.

Matteucci. — Action chimique de l'électricité. Lois des décompositions des mélanges, des composés multiples, etc. — *Bibl. univ.* T. LVIII, p. 23. — *Bibl. univ.* (*nouvelle série*). T. XX, p. 159, et t. XXI, p. 153; t. XXIV, p. 352; t. XXVI, p. 380; t. XXVIII; p. 410 (années 1830-1840). — *Arch. de l'électr.* T. I, p. 340. — *Ann. de ch. et de phys.* T. XLV, p. 322; et t. LVIII, p. 75.

Becquerel père. — Décomposition des mélanges, mesures des affinités, etc. — *C. R. de l'Ac. des Sc.* T. X, p. 671. — *Traité d'électricité et de magnétisme.*

E. Becquerel. — Décomposition des composés multiples. — *Ann. de ch. et de phys.* (*nouvelle série*). T. XI, p. 162 et 257. — Décomposition de l'eau oxygénée. — *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences.* T. XVIII, p. 562. — Influence des gaz dissous sur l'électrolysation de l'eau. — *Arch. de l'électr.* T. I, p. 281.

Hittorff. — Décomposition des sulfures. — *Annales de chim. et de phys.* (*nouvelle série*). T. XXXIV, p. 124. — Transport inégal aux deux pôles. — *Ann. der physik.* T. LXXXIX (n° 6, de 1853).

Beetz. — Décomposition de l'iodure de mercure, du verre, etc. — *Ann. der physik.* T. XC, p. 492 (n° 7, de 1854).

Pouillet. — Puissance électro-chimique inégale des deux pôles. — *Comptes rendus de l'Ac. des sc. de Paris.* T. XX, p. 1544.

Almeida. — Explication des anomalies dans l'électrolyse. — *Comptes rendus de l'Ac. des Sc. de Paris.* T. XXXVIII, p. 682.

Buff. — Confirmation de la loi électrolytique de Faraday. — *Arch. des sc. phys.* T. XXII, p. 344, et t. XXV, p. 65.

Soret. — *Idem.* — *Arch. des sciences phys.* T. XXV, p. 175, et t. XXVII, p. 113. — Ozone. — T. XXV, p. 263.

De la Rive. — Résistance au passage d'un conducteur solide à un conducteur liquide et oxydation du platine. — *Annales de ch. et de phys.* T. XXXVII, p. 215. — *Arch. de l'électr.* — T. I, p. 175, et p. 333. — *Arch. des sciences phys.* T. I, p. 373.

Nobili. — Apparences électro-chimiques, etc. — *Bibl. univ.* T. XXIII, p. 312; t. XXXIV, p. 194; t. XXXV, p. 261; t. XXXVI, p. 3; t. XXXVII, p. 174, et t. LVI; p. 150. — *Ann. de ch. et de phys.* T. XXXIV, p. 286 et 419.

Poggendorff. — Résistance au passage. — *Arch. de l'électr.* T. I, p. 497.

Vorsellman de Heer. — *Idem.* — *Arch. de l'électr.* T. I, p. 539 et p. 581.

Lenz. — *Idem.* — *Arch. de l'électr.* T. I, p. 177. — *Ann. der physik.* T. XLVIII, p. 385.

Meidinger.—Formation de l'oxyde d'hydrogène dans l'électrolysation de l'eau. — *Arch. des sc. phys.* T. XXV, p. 170, — *Ann. der ch. und phar.* T. LXXXVIII, p. 57.

Despretz. — Vérification de la loi de Faraday dans l'électrolysation de l'eau. *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*, du 22 mai, 1854. T. XXXVIII.

Schœnbein. — Influence des gaz dissous sur l'électrolyse de l'eau — *Arch. de l'électr.* T. II, p. 241. — Ozone. — *Bibl. univ.* (*nouvelle série*). T. XXV (1840), p. 342. — *Arch. de l'élect.* T. III, p. 295; t. IV, p. 333; t. V, p. 11, 333 et 556.

Herschell. — Mouvements du mercure par le courant électrique. — *Annales de ch. et de phys.* — T. XXVIII, p. 280.

Serullas. — Mouvements des alliages de potassium, etc. *Annales de ch. et de phys.* T. XXXIV, p. 192.

Porret. — Transport électro-chimique de l'eau. — *Ann. de ch. et de phys.* — T. II, p. 137.

Wiedemann. — Lois du transport des liquides à travers les diaphragmes. — *Ann. de ch. et de phys.* (*nouvelle série*). T. XXXVII, p. 242. — *Arch. des sc. phys.* T. XXIII, p. 184.

Graham. — Endosmose électrique. — *Arch. des sc. phys.* T. XXVII, p. 37.

Napier. — *Idem*. — *Arch. de l'électr*. T. v, p. 459. — *Arch. des sciences phys*. T. II, p. 345, et t. IV, p. 68.

Paetz et *Van-Troostwik*. — Décomposition de l'eau par l'étincelle électrique. — *Annales de ch*. T. v, p. 276.

Pearson. — *Idem*. — *Annales de ch*. T. XXVII, p. 161.

Van-Marum. — *Idem*. *Ann. de ch. et de phys*. T. XLI, p. 77.

Wollaston. — *Idem*. — *Annales de ch. et de phys*. T. XVI, p. 45.

Bonijol. — Décompositions opérées par l'électricité ordinaire. — *Bibl. univ*. T. XLV, p. 213.

Melly. — Décomposition chimique par l'étincelle voltaïque. — *Arch. de l'électricité*. T. I, p. 297.

Grove. — Décomposition de l'eau par la chaleur. — *Ann. de ch. et de phys*. — (*N. S.*) T. XXI, p. 129. — Polarité électro-chimique des gaz. — *Idem*. T. XXXVII, p. 876.

Masson. — Effets chimiques de l'électricité d'induction. — *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris*. T. XXXVI, p. 1130.

Quet. — *Idem*. — Incandescence des électrodes. — *Comptes rendus de l'Acad. des sc*. T. XXXVI, p. 1012.

Mackrell. — Incandescence des électrodes. — *Arch. de l'élect*. T. I, p. 1575.

Van-der-Willigen. — *Idem*. — *Arch. des sciences phys*. T. XXVII, p. 312.

Marignac. — Ozone. — *Arch. de l'électr*. T. v, p. 5.

Frémy et E. Becquerel. — *Idem*. — *Ann. de ch. et de phys*. (*nouvelle série*). T. XXXV, p. 62.

Baumert. — *Idem*. — *Arch. des sciences phys*. T. XXIV. p. 381.

CHAPITRE IV.

EFFETS PHYSIOLOGIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE.

§ 1. Nature des effets que l'électricité dynamique exerce sur les corps organisés.

Nous avons vu qu'une grenouille convenablement préparée éprouve une secousse quand elle est traversée par un courant électrique même très-faible. Déjà, avant cette expérience de Galvani, on savait que l'électricité exerce une action spéciale sur les corps organisés, aussi bien végétaux qu'animaux; on avait même employé l'électricité fournie par les machines électriques comme moyen curatif dans les cas de paralysie; mais c'est surtout depuis la découverte de la pile qu'on a pu étudier avec plus de précision l'action physiologique de l'électricité dynamique. Cette étude est très-difficile et délicate, comme tout ce qui touche à la physiologie, à cause de l'ignorance où nous sommes encore du mode d'action de la force vitale qui préside à tous les phénomènes de cet ordre. Il y a plus; l'électricité agit-elle directement? ou n'exerce-t-elle qu'une action indirecte, en déterminant des effets calorifiques et chimiques qui seraient eux-mêmes la cause des phénomènes observés? Et, en effet, en traversant des corps organisés, elle y produit nécessairement de la chaleur et des décompositions chimiques à des degrés, il est vrai, plus ou moins sensibles, mais cependant le plus souvent appréciables. Or, cette chaleur et ces décompositions peuvent elles-mêmes donner naissance à des effets qu'on pourrait attribuer par erreur à l'action directe de l'électricité. Ainsi, Davy ayant soumis à l'action d'une pile de 150 couples une feuille de laurier, en s'en servant pour réunir deux vases pleins d'eau pure, dans chacun desquels plongeait l'un des élec-

es, cette feuille prit la même apparence que si elle avait été
ée à une température de 250 à 300° cent.; elle devint
e et fut même grillée; la matière colorante verte, ainsi que
résine, de l'alcali et de la chaux avaient été transportés
le vase négatif, tandis que le positif renfermait un liquide
ayant l'odeur de la fleur de pêcher, qui était de l'acide
rocyanique. Une plante de menthe employée également
me conducteur, donnait, après une action prolongée, des
ltats du même genre; mais si l'action ne dure pas trop
temps, la plante peut reprendre son état ordinaire. Il est
nt que le courant électrique agit sur les matières végé-
et animales comme sur des électrolytes, et qu'il doit né-
rement amener au bout d'un certain temps la désorgani-
n du corps organisé, comme le ferait toute autre action
ique ou chimique.

peut expliquer de la même manière l'influence apparente
lectricité sur la germination et sur la fermentation. Il ré-
des nombreux essais qui ont été faits sur le premier point
'électricité statique n'exerce aucune influence sur la ger-
tion, ainsi que Ingenhouz l'avait très-bien démontré, en
nt voir que les erreurs dans lesquelles on était tombé à cet
l tenaient à ce qu'on n'avait pas eu égard à des circons-
s importantes, telles que la présence de l'eau, de la lu-
, etc. Quant à l'influence de l'électricité dynamique, qui
elle dans quelques cas, il est facile de prouver qu'elle pro-
d'une action indirecte, savoir celle qu'exercent les pro-
de la décomposition, et en particulier l'oxygène et les
d'une part, l'hydrogène et les alcalis d'autre part, sur
ines placées à l'un ou l'autre pôle, soit dans de l'eau,
dans la terre humide. Ainsi, tandis que l'oxygène facilite
mination vers l'électrode positif, il arrive aussi très-sou-
que l'acide qui se rend égale à cet électrode fait l'effet
aire en détruisant la grain tan s qu'on la voit germer à
trode négatif où s'accumule une e alcaline; c'est ce qui
lle de nombreuses recherch s ce sujet de M. Becquerel
M. Matteucci. Mais il n'est impossible, comme nous le
ns dans la c q l'électricité, même déve-

loppée dans l'acte de la germination, joue un rôle, secondaire il est vrai, dans ce phénomène physiologique. Il en est de même de la fermentation que M. Gay-Lussac a réussi à déterminer dans du jus de raisin conservé à l'abri de l'air, en y plongeant deux fils de platine communiquant respectivement avec les pôles d'une forte pile; il est évident que l'oxygène dû à l'action électrolytique était la cause de la fermentation, puisqu'il suffit d'introduire une petite quantité de ce gaz pour déterminer la production du phénomène, qui ne peut pas commencer dans un milieu où il n'y a pas d'oxygène. Enfin la coagulation de l'albumine autour de l'électrode négatif, observée par M. Lassaigne, est également le résultat de la présence à cet électrode d'acides provenant de la décomposition de quelques sels.

Nous ne nous arrêterons donc pas davantage sur ces effets indirects du courant électrique, nous nous bornerons à deux remarques : la première, c'est que nous devons en tenir compte en nous occupant des effets directs, et quand, en particulier, nous arriverons à l'étude de l'électricité même produite par les actions soit physiologiques pures, soit chimico-physiologiques; la seconde, c'est que l'influence chimique de l'électricité dynamique sur les produits organiques serait en elle-même un sujet d'étude très-intéressant à cause des caractères propres à ce genre de composés qui les font différer d'une manière si prononcée des composés inorganiques, en raison de la vie qui a présidé à leur formation. Malheureusement jusqu'ici le nombre des recherches faites sur ce point particulier qui est plus du ressort de la chimie organique que de l'électricité, est très-limité; nous essayerons de faire connaître le petit nombre de résultats qui ont été obtenus quand nous nous occuperons des applications électro-chimiques.

Passons donc maintenant aux phénomènes mêmes auxquels donne naissance l'action directe de l'électricité dynamique sur les corps organisés. Les végétaux, quoique beaucoup moins excitables que les animaux, le sont cependant dans certaines limites. Ainsi, soit la *mimosa sensitiva*, soit la *mimosa pudica*, présentent des mouvements quand on fait passer le courant électrique à travers leurs branches et leurs feuilles au moyen

petites lames de plomb ou d'étain dont on les recouvre en [illegible] parties de leur surface. La simple communication [illegible] armatures entre elles sans l'intermédiaire de la pile ne [illegible] point; mais, avec le passage de l'électricité, on voit dans [illegible]*mosa pudica* en particulier, une minute après l'établisse- [illegible] du courant, les feuilles, surtout celles qui sont armées, se [illegible] sur leurs branches, puis le même effet se produire suc- [illegible]ement sur d'autres feuilles çà et là dans plusieurs parties [illegible] plante. Giulio, à qui nous devons ces expériences, a trouvé [illegible]ans la *mimosa asperata* où l'irritabilité naturelle est moins [illegible]cée, l'irritabilité produite par l'électricité sur ses nœuds, [illegible]uilles et ses pétioles, est beaucoup moindre que sur les [illegible] autres espèces de *mimosa*. L'*hedysarum gyrans* et d'autres [illegible]es remarquables par les mouvements que présentent leurs [illegible]es, n'éprouvent aucune influence de la part de l'électricité [illegible]nique.

[illegible] voit donc que l'action physiologique de cet agent sur le [illegible] végétal est très-peu importante ou que du moins nos [illegible]aissances à cet égard sont très-limitées. Cependant il [illegible] encore une plante sur laquelle on a observé des effets [illegible]tricité très-remarquables, c'est le *chara* qui, comme on le [illegible] présente un phénomène physiologique très-curieux, sa- [illegible] un mouvement circulaire de globules et de lymphe; ces [illegible]les, dirigés de bas en haut, redescendent dès l'instant [illegible] rencontrent un nœud qui s'oppose à leur mouvement [illegible] remonter et ainsi de suite; en enlevant le diaphragme [illegible]rme le nœud, les globules sortent par l'ouverture et se [illegible]inent dans l'eau. MM. Dutrochet et Becquerel, en faisant [illegible] dans une tige de chara un courant électrique plus ou [illegible] fort tantôt de haut en bas, tantôt de bas en haut, ont [illegible]qué que cette transmission produit dans les premiers [illegible]s un engourdissement dans le mouvement des globules [illegible] intensité dépend de la force du courant et qui est indé- [illegible]t de sa direction, mais est le même sur les mouve- [illegible] ascendants et descendants. Quand le mouvement de la [illegible] a été arrêté, il recommence peu à peu sans que le cou- [illegible]ce de pa et il nd la vitesse qu'il avait primiti-

vement; la durée de l'arrêt dépend de l'intensité d
elle peut aller jusqu'à quelques heures si cette intens
fisamment forte; mais le passage de l'électricité ne p
cune désorganisation dans la plante, puisqu'un
ou moins long lui rend ses facultés naturelles. L'é
température produit sur le chara des effets analog
du passage du courant. A partir de 0°, la circulatio
s'accélère à mesure que la température monte; à
elle est très-rapide; elle diminue jusqu'à 27° où el
ralentie, puis elle augmente de nouveau jusqu'à
cesse entièrement et ne peut recommencer, la plante
à cette température une désorganisation qui détruit
ment rotatoire des globules. On pourrait donc croir
à la chaleur qu'il développe en traversant le chara q
rant doit son effet, mais il ne produit jamais d'a
comme en détermine l'augmentation de la température
autre côté, la chaleur ne produit pas d'arrêt comme
avec l'électricité transmise. Il paraît donc plus pro
l'influence du courant sur la circulation du chara p
la disposition nouvelle qu'il oblige les molécules
d'affecter en les polarisant; polarisation qui, lors
suivie d'une décomposition très-forte, peut désor
végétal, mais contre laquelle luttent cependant avec
vantage les forces vitales qui produisent la circulat
que les molécules organiques dérangées de leur posi
relle d'équilibre puissent recouvrer leurs propriétés p
L'action qui détermine le mouvement rotatoire l'emp
celle du courant, celui-ci continue à passer sans
mouvement; mais la lutte cesse quand le courant p
intensité suffisante; d'un autre côté, les forces vita
avoir fait des efforts qui les épuisent momentanémen
nent leurs facultés après un certain temps de repos,
qu'elles ne sont plus soumises à l'action de l'élect
voit donc qu'il y a des différences assez notables entre
et le courant quant à la manière dont leur action s'
qui permet de conclure que l'électricité agit dans ce
phénomènes d'une manière qui lui est propre.

is c'est surtout sur les animaux que l'i .i directe de l'é-
ité a été constatée et étud . La ı ı la plus frap-
de le démontrer est de prép gr ouille à la façon
lvani (fig. 258), en la coupant au milieu du corps, puis,
l'avoir dépouillée rapidement, on passe la pointe des
ıx sous les deux nerfs lombaires qui paraissent comme

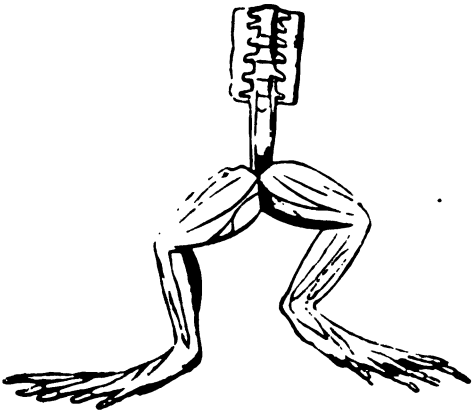


Fig. 258.

blancs de chaque côté de la colonne vertébrale ; on enlève
ux ou trois vertèbres inférieures, on met ainsi à nu les
mbaires ; ils forment alors la seule attache qui lie encore
mbres inférieurs aux vertèbres supérieures. Si mainte-
suspend la grenouille à un fil conducteur isolé au
de ses nerfs, et qu'on fass r en touchant les mem-
rieurs avec un autre cond teur, une légère décharge
ible courant électrique d nerfs aux muscles, on voit
mbres de la grenouille éprouver une contraction subite
ment vive. On peut également faire l'expérience en
les jambes de la grenouille chacune dans un verre
plein d'eau (fig. 259), et en plongeant dans l'un des
zinc et dans l'autre le cuivre d'un petit couple ; aussitôt
ouille éprouve une contraction assez forte pour que le
vent elle soit chassée d'un verre dans l'autre ou même
ux verres également. Il n'est pas nécessaire, pour obtenir
raction, de s le circuit les nerfs et les mus-

cles ; il suffit de faire passer le courant dans une partie des nerfs, même très-courte, pour que les muscles se contractent. Au reste, toute action existante exercée sur le nerf produit un effet du même genre.

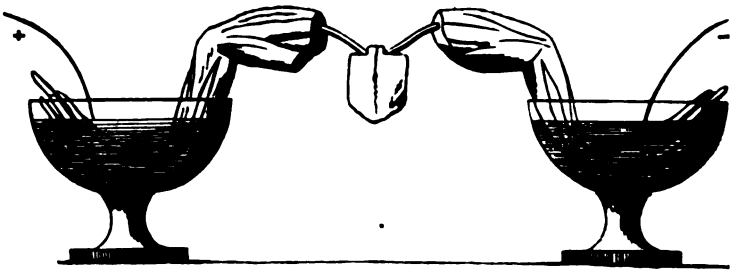


Fig. 256.

Mais ce n'est pas sur la grenouille seule que l'on a étudié l'action physiologique du courant. Galvani lui-même et Aldini produisirent, il y a près de soixante ans, des contractions sur la tête d'un bœuf récemment assommé en introduisant dans une de ses oreilles un fil de métal en communication avec l'un des pôles de la pile et dans les naseaux un fil en communication avec l'autre pôle. On vit aussitôt les yeux s'ouvrir, les oreilles se secouer, la langue s'agiter et les naseaux s'enfler ; des résultats semblables furent obtenus sur divers animaux. Plus tard, en 1818, le docteur Ure en ayant essayé de soumettre le corps d'un pendu, immédiatement après l'exécution à l'action du courant d'une pile de 270 couples cuivre et zinc de 16 pouces carrés de surface et chargée avec de l'eau légèrement acidulée avec de l'acide sulfurique et nitrique, obtint des résultats remarquables. Un des électrodes de la pile fut au moyen d'une incision, mis en contact avec la moelle épinière, tandis que l'autre fut appliqué sur le nerf sciatique qu'on avait également mis à nu ; à l'instant tous les membres du corps furent agités de mouvements convulsifs ; en faisant mouvoir le second conducteur de la hanche au talon, le genou ayant été plié préalablement, la jambe fut lancée avec tant de violence qu'elle faillit renverser un des assistants qui essayai

en vain d'en prévenir l'extension. D'autres expériences faites sur différentes parties du corps produisirent des contractions plus ou moins fortes dans divers organes et en particulier dans le diaphragme, auquel on parvint à donner un mouvement momentané analogue à celui qu'il possède pendant la vie, en déterminant ainsi une espèce de respiration forte mais pénible.

Humboldt qui, dès l'origine de la découverte de Galvani, s'était occupé de ce sujet avec beaucoup de soin, avait, après diverses recherches faites sur les animaux et sur lesquelles nous reviendrons, voulu étudier l'action physiologique de l'électricité sur lui-même. S'étant appliqué des vésicatoires sur chacun des muscles deltoïdes, il mit sur l'une de ses plaies une plaque d'argent et sur l'autre une plaque de zinc, et réunissant les deux plaques par un fil de métal, il constitua un couple dont le courant contractait alternativement les muscles de l'épaule et du cou avec une sensation de forte cuisson aussitôt que la vessie, formée par le vésicatoire, fut ouverte.

Pour éprouver l'effet du courant sur son propre corps, il suffit de plonger chacune des mains dans un vase plein d'eau salée communiquant, l'un avec le pôle positif, l'autre avec le pôle négatif d'une pile d'une trentaine de couples faiblement chargés; on éprouve aussitôt une commotion qui s'étend jusqu'au poignet ou au coude, selon l'intensité de la décharge. Quand le courant passe pendant quelque temps, et qu'on tient dans chacune de ses mains un cylindre de métal mouillé assez gros pour la remplir entièrement, on éprouve une sensation désagréable analogue à un frémissement. Si plusieurs personnes se donnent la main, la commotion est éprouvée à la fois par toutes d'une manière sensible, surtout si le nombre des personnes est peu considérable. Le corps humain n'est pas, en effet, un bien bon conducteur. C'est ce que constatent des expériences assez exactes faites par Lenz avec un galvanomètre multiplicateur de Nobili, au moyen du courant d'induction d'une machine de Clarke, et dont voici les détails.

On détermine d'abord la résistance du circuit entier, composé du fil induit, du fil du multiplicateur et des fils qui servent à mettre le multiplicateur dans le circuit, et on la prend pour

unité; puis on interpose dans le circuit une personne, e
faisant plonger un ou plusieurs doigts de chaque mai
deux vases remplis d'un liquide conducteur, qui sont m
mêmes en communication avec les extrémités du fil ind
mesure alternativement la force du courant avec et sa
terposition du corps humain, et on a ainsi une moyenn
exacte de l'effet de résistance produit par cette interp
Ainsi, en se servant pour liquide conducteur de l'eau
de $\frac{1}{100}$ d'acide sulfurique, on trouve que la résistance p
par le corps d'un homme de quarante-trois ans est trente
fois la résistance prise pour unité, quand il ne plong
doigt dans chaque vase, et seulement 6 fois quand il pl
main entière. La résistance est d'autant plus faible qu
quide est plus acide, et par conséquent plus conduct
voit donc par là que la résistance existe surtout dans le
du courant du liquide dans le corps, et réciproquement
la cause en est par conséquent dans l'épiderme. En
main immergée ayant reçu accidentellement dans un
rience une petite écorchure, la résistance tomba de 6,06
quoique les circonstances fussent d'ailleurs parfaitem
mêmes [1]. Le mercure, substitué à l'eau acidulée, augm
résistance au lieu de la diminuer, probablement par
n'humecte pas la peau comme la solution acide.

La résistance varie un peu avec les personnes sou
l'expérience; elle est en général beaucoup plus consi
avec des enfants ou des jeunes gens qu'avec des gens pl
Il est probable que cela tient à des différences dans la
des doigts immergés, puisque les résistances différent
quand c'est la main tout entière qui est plongée que
ce n'est qu'un doigt ou deux. Il semblerait aussi que l
droite présente plus de résistance que la main gauche
peut tenir au plus grand usage qu'on en fait.

[1] Il n'est personne qui, ayant manié quelquefois des piles voltai
sache combien la plus petite écorchure à une partie de la main, quan
trouve en contact avec l'un des électrodes, facilite la production de la
désagréable provenant du passage du courant dans les membres.

r comparer les résultats nombreux qu'il a obtenus à une tance connue, Lenz a cherché à rapporter par les procédés s' la résistance de son circuit, non compris le corps hu- interposé, à celle d'un fil de cuivre de 1 millimètre d'é- ur, et il a trouvé qu'elle équivalait à une longueur de ce 13357^{m}, 5, ce qui fait que la moyenne des résistances rées par les diverses personnes, mises en expérience au re de six, équivaut à 91503 mètres. M. Pouillet avait trouvé résistance égale à celle d'un fil de cuivre, toujours de imètre de diamètre, mais de 11 lieues de longueur, ce it une résistance environ moitié moindre; il est vrai que ains étaient mouillées et plongées dans le mercure où ssaient les fils conducteurs du courant, ce qui explique soi la résistance était moins considérable; mais le même ien a observé que si le courant passe d'un doigt à de la même main, les doigts étant mouillés et plongés e mercure jusqu'à la moitié ou au tiers de la première ge, il est affaibli 7 fois plus, c'est-à-dire autant que s'il raversé 77 lieues du fil de cuivre. M. Pouillet se servait, es expériences, d'une pile de 12 couples à la Wollaston n multiplicateur de 240 tours muni d'une aiguille ai- e très-sensible.

tard, M. Masson a étudié l'effet physiologique des cou- discontinus; il se servait d'une roue dentée pour rendre tinus les courants qui traversaient une longue hélice, l'intérieur de laquelle on introduisait un cylindre de ux pour les rendre plus intenses. Il a remarqué qu'en t un certain intervalle entre chaque secousse, on éprouve mmotions difficiles à supporter; en augmentant la vi- le la roue, il arrive un instant où les muscles éprouvant ntraction involontaire, on ne peut plus abandonner les ès qu'on tient entre les mains pour transmettre le cou- travers le corps; la douleur devient insupportable, les e tordent sur eux-mêmes; et, en augmentant l'intensité pile, la douleur devient telle qu'on s'évanouirait si on ne

me II, p. 29.

cessait pas aussitôt l'expérience. En tournant plus rapi
la douleur diminue, les contractions sont moins fortes,
plus qu'un engourdissement qui finit lui-même par di
pour une certaine vitesse. Cette limite n'est pas la mé
tous les individus, elle varie également avec l'intensité
rant. M. Masson, en appliquant une succession plus
rapide de ces secousses électriques à des chats très-vi
a déterminé assez promptement leur mort, laquelle
compagnée d'une raideur des membres semblabl
qu'aurait manifestée l'animal quinze jours après
naturelle.

Nous reviendrons sur les effets observés par M. Mas
particulier sur une propriété qu'il a trouvé appartenir
rant induit, celle de n'affecter que les points du corp
par les électrodes, quand nous nous occuperons des ap
de l'électricité comme moyen curatif. Nous renvoyo
ment à cette partie de notre ouvrage bien des détails in
sur l'action spécifique de l'électricité dynamique sur les
nerveux et musculaire, ainsi que la description des
pareils, imaginés pour la production des courants des
applications physiologiques, tels que la roue foudr
Neeff, dont ils ne sont que des modifications. Nous ne
rêtons pas non plus à décrire ici les nombreuses rech
divers physiologistes sur la spécialité de l'action élec
point de vue des fonctions physiologiques, parce que les
en ont été contestés, et que d'ailleurs ce n'est que lors
achevé l'étude théorique de l'électricité et en particulier
tricité animale, nous pourrons discerner en quoi cette
peut consister. Nous nous bornerons à rappeler que Ri
cru que l'électricité du pôle positif augmente les force
tandis que celle du négatif les diminue; que le premier t
parties du corps qu'il touche et fortifie le pouls de la mai
que le second l'affaiblit; il avait également cru voi
fluence différente des deux pôles sur la vision et sur le
goût et de l'odorat; tous ces effets et bien d'autres enco
évidemment dus à l'action soit chimique, soit calor
l'électricité dynamique et non à une action statique

té de chaque pôle. Wassali, Julio, Rossi et Fowler, à la suite grand nombre d'expériences sur les corps des criminels leur exécution, avaient cru trouver une action spécifique électricité sur le cœur et sur d'autres muscles, tels que de l'estomac et des intestins; Volta et Aldini avaient con- ment nié l'existence de ce genre d'action. Enfin, le docteur n Philipp, en opérant sur des lapins la section des nerfs huitième paire, avait estimé pouvoir remplacer par un nt électrique l'action de ces nerfs sur la digestion. D'au- avaient été encore plus loin, en avançant que l'influence use n'est qu'une action analogue à celle de l'électricité. ait même tenté de remplacer cette influence dans les secré- par un courant électrique agissant directement sur les ers secréteurs. Mais tous ces résultats n'avaient qu'une e ressemblance avec ceux que détermine la force vitale mise par l'intermédiaire des nerfs, ainsi que l'a prouvé un en plus approfondi et plus détaillé. Nous laisserons donc té toutes ces recherches pour étudier d'une manière plus e et plus scientifique, avec les divers physiciens qui s'en occupés, l'action réelle du courant électrique sur les diffé- s parties du corps des animaux, de la grenouille en parti- r, en nous bornant à constater les faits positifs que des iences multipliées ont mis hors de toute espèce de doute. dant cette étude elle-même ne pourra être complète que e, abordant dans notre cinquième partie l'action physiolo- considérée comme source de l'électricité, nous pourrons cier la part d'influence qu'exerce, dans les phénomènes que ine l'application d'une électricité extérieure et artificielle, ricité naturelle que l'animal possède et qui est liée avec ctions physiologiques.

Analyse fondamentale de l'action du courant électrique sur les animaux.

ction du courant électrique sur les animaux ne se mani- ettement que sous deux formes : la douleur dont la per- n ne peut être nettement accusée que par l'homme; la

contraction musculaire qui est sensible chez tous les a
par les mouvements qui en sont la conséquence, et q
même se manifester plus ou moins longtemps après q
cessé de vivre. Elle consiste dans un raccourcissement d
dont se compose le muscle accompagné d'un accroisse
leur diamètre, sans qu'il en résulte aucun changemen
volume du muscle lui-même. C'est ce que Matteucci a dé
en plaçant une torpille et une grenouille, préparée à la
de Galvani, dans un vase rempli d'eau et fermé avec
chon traversé par un tube étroit dans lequel le liquid
on fait arriver un courant électrique dans le vase au m
deux fils isolés, et, quoique la torpille et la grenouill
vent de fortes contractions, on ne voit pas que le niv
colonne liquide dans le tube éprouve le moindre cha

Nous ne nous arrêterons pas ici aux détails relatifs à
ture du muscle et aux hypothèses qu'on a faites sur la
dont s'opère sa contraction; nous nous bornerons à aj
la cause qui la détermine dans l'animal à l'état norma
fluence transmise par les nerfs qu'on désigne sous le
force nerveuse[1]. L'ensemble de ces nerfs constitue le
nerveux célébro-spinal, qui se compose principalem
nombre infini de ramifications disséminées dans le
l'animal, se réunissant en une masse centrale qui
cerveau et la moelle épinière[2]. Si l'on coupe une de c
fications sur un animal vivant, et si l'on touche avec un
ou avec un morceau de potasse, ou si l'on blesse ou tira
manière quelconque la portion du nerf qui est restée
munication avec l'axe cérébro-spinal, l'animal donne d

[1] Nous excluons à dessein le mot *fluide nerveux* qui est quelquefois
parce qu'il repose sur une hypothèse que rien ne justifie, quant à l
la force nerveuse.

[2] Outre le système nerveux cérébro-spinal, il en existe un second,
nerveux ganglionnaire, composé de ramifications distribuées princip
appareils de la vie organique, qui, malgré ses liaisons nombreuses
mier, ne réveille cependant, quand il est irrité, ni mouvements ni
Nous ne nous en occuperons pas dans les recherches qui font l'objet
graphie.

r. En produisant ces mêmes irritations au-dessous de
les signes de la douleur ne se manifestent pas, et on
ulement les contractions dans les muscles où se ra-
erf irrité. Quand on pratique ces excitations sur le
t, on détermine simultanément la douleur et la con-
on peut au lieu de couper le nerf, le lier, ce qui produit
ffet que la section; mais si on le lie en deux points et
ite dans la portion comprise entre les deux ligatures,
douleur ni excitation. Le nerf a donc pour office de
re l'action du stimulant appliqué sur lui, soit au cer-
le produit une sensation, soit aux muscles où elle
une contraction. Les découvertes modernes des phy-
ont démontré que parmi les nerfs il en est un certain
ui, étant excités, ne provoquent les uns que la con-
é musculaire, les autres que la douleur. Ajoutons
ceau nerveux est composé d'un grand nombre de fila-
s capables de transmettre séparément l'action qui les
s que les filaments avec lesquels est en contact celui
cité y prennent part. Quant à la nature même des
s nous bornerons à remarquer que c'est une matière
renfermée dans de petits canaux cylindriques d'une
e plus ferme et qu'on nomme névrilèmes, sans entrer
ment dans plus de détails sur leur constitution phy-
himique, qui a été l'objet des recherches d'un grand
e physiologistes.
ses capables de développer dans les nerfs la force
qui en se propageant jusqu'aux muscles y détermine
ction, sont avant tout la volonté, puis les actions
es, les actions chimiques, la chaleur, et enfin l'élec-
ais l'électricité diffère, dans son mode d'action, des
ents extérieurs par des caractères qui lui sont propres
ont donné à cet égard une importance relative beau-
grande, en rapprochant son effet de celui de l'agent
lonté met en activité. Voici ses principaux caractères
allons établir l'existence : le courant électrique est
ritant qui puisse exciter tantôt la contraction, tantôt
on, suivant la direction dans laquelle il parcourt un

nerf; le courant électrique ne produit aucun des phé
qui résultent de l'excitabilité du nerf quand il le trav
pendiculairement à sa longueur; il ne détermine ni
tion, ni sensation quand son action sur le nerf est pr
il peut seul modifier l'excitabilité du nerf, même la
s'il circule dans un certain sens, et la conserver,
l'augmenter, s'il est dirigé en sens inverse; enfin, seul
agents irritants, il peut réveiller pendant longtemps l
lité des nerfs lorsqu'elle est très-affaiblie par rap
autres stimulants.

Nous avons déjà rappelé dans le paragraphe précé
périence fondamentale de Galvani et sa manière de p
grenouille. Volta et Fowler avaient remarqué, en r
variant cette expérience, que les mêmes contractio
grenouille éprouve au moment où le courant s'établit,
vellent à l'instant où ce courant cesse de la traverse
étudié successivement par Valli, Rumford et Pfaff,
attribué par Volta à une espèce de refoulement qu'
courant au moment de la rupture du circuit par l'o
stantané qu'il rencontre, comme le ferait un fluide q
nant dans un canal, reculerait et se mouvrait dan
opposé quand il serait brusquement arrêté. Marian
étudié avec soin ce phénomène, n'a pas réussi à
l'existence du contre-courant hypothétique de Volt
ployant soit un galvanomètre, soit la sensation exe
courant sur la langue; il a donc pensé qu'en enlevan
munications qui transmettent le courant d'une pile,
naître aucun courant opposé. C'est donc au seul f
cesse d'être traversée par le courant, que la grenou
seconde contraction qu'elle éprouve, et la preuve,
suffit pour la produire de réunir par un arc méta
deux conducteurs qui font communiquer les pôles
avec la grenouille. On détermine sa contraction en
ainsi par un meilleur conducteur, le courant qui c
cheminer dans un circuit dont l'animal, il est vra
plus partie. Toutefois, Marianini a montré que la co
qui a lieu au moment de l'irruption du courant et c

au moment de sa cessation, n'ont pas la même intensité, moins lorsque la grenouille a perdu de son excitabilité; l'une ou l'autre qui est la plus forte, suivant le sens dans

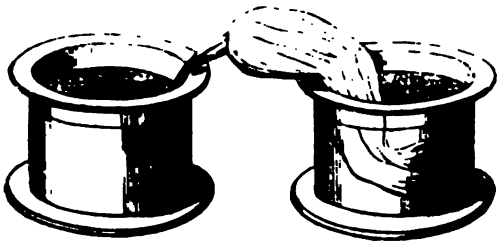


Fig. 260.

il chemine le courant, par rapport aux ramifications ner-s. Pour bien apprécier cette différence, il faut préparer grenouille de manière que les cuisses ne tiennent au tronc par les nerfs lombaires (fig. 260); on place le tronc dans tasse remplie d'eau qui communique avec l'un des pôles, s deux cuisses dans une autre tasse en communication avec re pôle. Si le pôle positif est dans la tasse où est le tronc négatif dans celle où sont les cuisses, la grenouille se con-e toutes les fois qu'on ferme le circuit et non quand on vre; en changeant les pôles de place, les effets sont in-s. Ce résultat prouve que, pour que la contraction ait lieu nd on ferme le circuit, il faut que le courant chemine dans ns de la ramification des nerfs, et que pour qu'elle ait lieu nd on l'ouvre, il faut que le courant chemine dans un sens nire à cette ramification. Nous appellerons courant *direct* i qui chemine dans le premier sens, et *inverse* celui qui mine dans le second.

e même phénomène se manifeste quand on fait l'expérience e une grenouille préparée comme ci-dessus, mais disposée de n que l'une de ces cuisses plonge dans l'un des verres et re dans l'autre verre (fig. 261). La grenouille, comme on nit, s'élance au dehors des verres quand on plonge dans un l'un des pôles d'une pile; mais si on la retient forcément place, on aperçoit d'abord des contractions dans les deux

jambes, aussi bien en ouvrant qu'en fermant le circuit. En continuant à agir, il arrive un moment où l'excitabilité de l'animal étant diminuée, un seul membre se contracte quand on

Fig. 264.

ferme le circuit; c'est celui dans lequel le courant est direct; et au contraire, quand on l'interrompt, la contraction a lieu dans l'autre membre, savoir, celui qui est parcouru par le courant inverse.

Ce fait important bien analysé et constaté par Marianini avait déjà été en partie aperçu par Volta, par Lehot et par Bellinghieri qui n'avaient pourtant point remarqué le point essentiel que M. Marianini a signalé le premier, c'est que dans le cas du courant inverse il y a contraction quand le courant est interrompu, lors même qu'il n'y en a point quand il est établi. Ajoutons qu'avec deux grenouilles mises dans le circuit à la suite l'une de l'autre de façon que leurs deux troncs plongent dans le même vase, les cuisses de l'une communiquant avec le pôle positif et celles de l'autre avec le négatif, on voit, à l'établissement du circuit, tressaillir celle qui est parcourue par le courant direct et non l'autre qui l'est par le courant inverse, tandis qu'à la rupture du circuit c'est la seconde qui tressaille et non la première.

M. Marianini a encore observé que, lorsque l'électricité agit immédiatement sur les muscles, il n'y a de contractions qu'à l'instant où le circuit est fermé, quelle que soit d'ailleurs la direction du courant, d'où il est amené à distinguer ces der-

qu'il nomme *idiopathiques*, de celles qui dérivent de exercée par le courant électrique sur les nerfs qui pré- aux mouvements des mêmes muscles, et qu'il nomme *thiques*. Nous venons de voir qu'elles n'ont lieu qu'à lissement du circuit et non à sa rupture si le courant est et qu'à sa rupture et non à son établissement s'il est e. Mais dans les deux cas où il n'y a pas contraction ne urrait-il pas qu'il y eût sensation, du moins si l'animal vant ? C'est ce que Marianini croit avoir constaté en opé- ur une grenouille dont les membres postérieurs n'étaient attachés au corps que par deux nerfs cruraux, et en met- n communication ces membres unis ensemble avec l'un les, pendant que l'une des jambes antérieures, la droite, nuniquait avec l'autre pôle. Si le courant envahissait les dans la direction de leur ramification, la grenouille agi- s extrémités inférieures au moment où l'on fermait le it; et à l'instant où on l'interrompait, elle poussait un cri gé de toute la force de ses poumons et se soulevait en e temps avec des contorsions, sur ses membres antérieurs agiter les inférieurs. Si le courant pénétrait les nerfs en contraire de leur ramification, c'était quand on établissait mmunications que la grenouille faisait entendre son cri pagné de contorsions et qu'elle le répétait si on laissait uit fermé pendant quelque temps, et quand on l'inter- it les extrémités postérieures s'agitaient et l'animal ces- crier et de présenter des contorsions.

Marianini cite une expérience curieuse à l'appui de la ction qu'il a établie entre les contractions idiopathiques sympathiques, et de la différence d'effet du courant dans où circulant dans les nerfs il les parcourt dans le sens de ramification ou en sens contraire. Elle consiste simplement tre sa main droite en communication avec l'un des pôles pile, le positif par exemple, et la gauche avec l'autre, le tif; l'on ressent toutes les fo que le circuit est fermé une ction dans les deux bras, mais plus forte dans le gauche ans le droit; si l'on fait passer le courant en sens con- , c'est le dro qui éprouve la contraction la plus forte. On

obtient un effet analogue en faisant communiquer l'un des pôles avec le bras et l'autre avec le pied. La contraction est plus forte dans le membre où le courant circule dans le sens de la ramification des nerfs, parce qu'elle est à la fois sympathique et idiopathique que dans l'autre membre où elle n'est qu'idiopathique. Il paraîtrait que chez les individus sensibles aux effets de l'électricité, la secousse est accompagnée dans le dernier cas d'une sensation particulière qui n'a pas lieu dans le premier cas où elle est plus forte.

M. Nobili, à la suite d'une analyse très-complète des phénomènes décrits par Marianini, est arrivé à distinguer cinq périodes dans le degré d'irritabilité de la grenouille, la première dans laquelle il y a contraction avec le courant direct et le courant inverse, soit qu'on établisse, soit qu'on ouvre le circuit; la seconde dans laquelle il n'y a plus de contractions quand on établit le courant inverse; la troisième quand cessent aussi les contractions à la rupture du courant direct; la quatrième quand il ne reste plus que les contractions dues à l'établissement du courant direct; enfin la cinquième quand il n'y a plus de contractions du tout dans aucun cas. Il est clair qu'il faut toujours opérer avec le même arc voltaïque, car toutes les limites seraient reculées si la force du courant était plus considérable. Dans toutes ces expériences, M. Nobili opérait sur le nerf seul en appliquant aux extrémités d'un nerf crural isolé les deux bouts de l'arc voltaïque, en ayant bien soin de ne pas toucher le muscle.

Pendant que le courant circule il n'y a pas de contractions sensibles, ce qui ne prouve pas qu'il n'y ait pas un certain effet produit sur le nerf par le courant. Volta avait déjà remarqué qu'une grenouille laissée une demi-heure dans le circuit d'une pile ne se contracte plus sous l'action du même courant, tandis qu'elle éprouve une agitation très-vive si on la soumet à l'action d'un courant inverse. On voit bien par là que l'action continue d'un courant ne désorganise pas le nerf, mais qu'elle l'altère cependant jusqu'à un certain degré en le mettant dans un état différent de son état naturel; si l'action a duré peu de temps, le nerf ne s'est pas habitué à son nouvel état, aussi,

le courant cesse, il reprend immédiatement son état
l et une nouvelle invasion du courant détermine les
effets. Mais quand par la durée de l'action il s'est ha-
i son nouvel état, il peut s'y maintenir plus ou moins
mps, même quand la cause qui a produit sur lui cette
ion n'existe plus. Aussi, si après avoir suspendu un mo-
e courant, on le fait agir de nouveau, il ne produit point
parce qu'il retrouve le nerf encore dans la disposition
nd à produire chez lui. Il n'en est plus de même quand
nge la direction du courant; plus le nerf s'était habitué
t du premier courant, moins il supportera facilement
i du second. L'expérience n'enseigne pas en quoi con-
les modifications qu'éprouve le nerf sous l'action des
ts direct et inverse; seulement elle nous montre que
es modifications est bien différente de l'autre; M. Nobili
e l'une *altération directe*, c'est celle qui est produite par le
t direct; et l'autre, qui est produite par le courant in-
altération inverse.
nimal peut donc se trouver dans trois états, l'état naturel
que le courant ne passe, l'état d'altération directe et l'état
ation inverse. Pour qu'il y ait secousse, il faut deux con-
s, la première que le nerf passe d'un état à l'autre, la
le que ce passage ait lieu rapidement. M. Marianini avait
qué, en effet, que si le passage d'un état à l'autre, c'est-
l'établissement où la rupture du courant se fait lente-
et graduellement, la secousse est nulle ou très-faible. Le
ge d'un état à l'autre détermine une secousse; et comme
quatre passages possibles, il y a quatre secousses dont
sont comparativement *plus faibles* en comparaison des
autres *plus fortes* qui persistent plus longtemps. Voici en
ordre dans lequel elles disparaissent : *la plus faible* qui
ient au courant inverse au moment où on l'établit, *la*
faible qui appartient au courant direct au moment où
nterrompt, *la moins forte* qui appartient au courant in-
au moment où on l'interrompt, *la plus forte* qui appartient
rant direct au moment où on l'établit.
s la première période de grande excitabilité, les diffé-

rences entre les quatre contractions sont trop petites p
voir être saisies; pour se rendre compte de ce qui a li
les autres, M. Nobili suppose que le nerf possède une s
qui le rend propre à propager certains mouvements
sens de ses ramifications, d'où résulte que le couran
agissant sur le nerf dans le sens de ses fibres, il pro
contraction, tandis que le courant inverse agissant d
direction contraire n'en produit point ou n'en produit
lorsque le nerf, étant très-irritable, il est capable, con
corde élastique, de propager le mouvement qu'il reç
deux directions, mais avec plus d'intensité cependa
celle suivant laquelle agit la force. Si la circulation
rant direct tend à altérer la structure du nerf dans le
ses fibres et dans celui de ses ramifications, celle du
inverse tend à l'altérer dans la direction opposée, ce
que pour une même intensité du courant, la premièr
tion donnera au nerf un état moins forcé que la secon
résultera que l'interruption du courant devra produ
secousse moins forte dans le cas du courant direct que
cas du courant inverse qui constitue le nerf dans un
éloigné de celui qui lui est naturel.

Telles sont, en résumé, les idées de M. Nobili, q
même qu'elles ne peuvent être admises sous la for
explicite qu'il leur a donnée, n'en ont pas moins, com
le verrons, un fondement de vérité. Ajoutons encore q
des contractions, telle qu'il l'a formulée, varie avec la
courant, et qu'en particulier les courants forts sont pre
nellement plus actifs quand on interrompt que quand
le circuit, et que c'est l'inverse pour les faibles, ce qu
l'altération plus grande que les premiers produisent
nerfs. Du reste, M. Nobili a reconnu que sa loi des con
n'est point modifiée par la présence des muscles dans le
et, en effet, on obtient les mêmes effets en plaçant la gr
de façon que le courant passe du nerf crural dans ses r
inférieurs, que lorsqu'il passait dans une portion du ner
ment. Mais il n'en est plus de même si le courant tra
muscles seuls : la secousse n'a lieu alors que lorsqu'o

nait, et on n'observe plus celles qui étaient produites quand interrompait, vu qu'elles étaient dues à l'altération du nerf parcourait le courant.

ns devons revenir ici un instant sur l'un des phénomènes nous avons décrit en passant, mais qui mérite un examen approfondi, c'est celui auquel les physiciens se sont accordonner le nom d'*alternatives voltaïques*, à cause de Volta, observa le premier. Nous avons vu que ce célèbre physiqant mis à cheval, sur deux verres d'eau placés dans le t de la pile (fig. 259), une grenouille récemment tuée et ée à la manière de Galvani, remarqua que si le circuit resté constamment fermé pendant une demi-heure, les s de l'animal ne se contractaient plus quand on ouvrait on fermait le circuit. Mais en faisant passer un courant en contraire du premier, on ne pouvait ni ouvrir ni fermer nait sans que les contractions ne se renouvelassent chaque Si on faisait agir de nouveau le courant pendant une heure, les muscles perdaient dans ce second état toute contractilité, mais ils la regagnaient en reprenant leur ière position. En opérant ainsi ces changements de demi- en demi-heure, et même plus souvent, on pouvait ant un jour entier, et plus longtemps encore, annuler ou er à volonté l'excitabilité naturelle des muscles de al.

aiblissement qu'éprouve la faculté de la grenouille de se ter est d'autant plus considérable que le courant est rt; mais, quoique en général elle puisse se contracter veau sous l'action d'un courant plus intense, cependant bilité se trouve affaiblie; c'est ce que M. Marianini a démontré au moyen de deux grenouilles parfaitement bles, préparées de la même manière et en même temps, une avait été laissée en repos, pendant que l'autre avait mise à l'action du courant de 40 couples : l'opérait duré une demi-heure; au bout d'une seconde demi-, la première grenouille était encore sensible au courant seul couple presque autant qu'en commençant, tandis que nde demeu immobile dans l'action de 2 couples.

Si l'animal est vivant, la force vitale répare les atteintes portées par le courant aux organes du mouvement. M. Marianini s'en est assuré en faisant passer le courant électrique de 60 couples d'une des jambes de la grenouille vivante à l'autre au moyen de deux bandelettes de plomb. Il suffit qu'elle obtienne quelque relâche lorsque ses contractions musculaires ont faibli sous l'action du courant pour que, retrouvant sa force primitive, ses contractions reprennent leur vigueur sans qu'il soit nécessaire de la soumettre à l'action d'un courant contraire. Ce principe réparateur ne cesse pas entièrement avec la vie ; il subsiste, du moins en partie, pendant quelque temps après la mort ; toutefois c'est dans l'animal vivant qu'il jouit de la plus grande énergie.

Cet affaiblissement de l'excitabilité des nerfs se manifeste principalement dans la portion qui est traversée par le courant, ainsi que l'a prouvé Matteucci en appliquant le courant à une portion du nerf plus éloignée du cerveau que ne l'était celle sur laquelle on avait opéré assez longtemps pour faire cesser les contractions ; on voit aussitôt reparaître les contractions et les mêmes phénomènes qu'auparavant ; en poursuivant ces expériences de manière à agir sur des portions de nerf encore plus éloignées du cerveau, on obtient encore les mêmes effets. Si l'animal est vivant, on trouve par contre que les signes de douleur qu'il manifeste quand un courant parcourt ses nerfs, se raniment si l'on agit sur des parties de plus en plus voisines du cerveau, à mesure que sa vivacité diminue par le passage prolongé du courant. Dans les deux cas également, c'est toujours l'excitabilité des nerfs qui s'affaiblit par ce passage. Cette expérience est importante en ce qu'elle montre qu'on ne peut attribuer le phénomène des alternatives voltaïques, comme le fait Marianini, à ce qu'une partie de l'électricité qui envahit les organes du mouvement s'y arrête pendant quelque temps et s'y accumule de plus en plus jusqu'à ce que, par une tendance à refluer, elle s'oppose au courant qui survient dans les mêmes organes, de manière que l'action de ce courant devienne nulle ou excite des contractions plus faibles qu'au commencement de l'expérience. D'ailleurs, rien

[illegible]ontre cet arrêt de l'électricité qui serait comme une [illegible] de polarisation des parties extrêmes des portions de la [illegible]ille mises dans le circuit. Nous voyons donc, comme [illegible] l'a si clairement exposé, que le courant électrique déter- [illegible] dans la portion du nerf qu'il parcourt une altération [illegible] plus forte que son passage est plus prolongé, altéra- [illegible] rend le nerf incapable de transmettre l'action d'un [illegible] agissant dans le même sens, et qui ne peut disparaître [illegible] le passage d'un courant dirigé en sens contraire ou par [illegible]pos de quelque durée, jusqu'à ce que, par des actions [illegible], le nerf ait perdu toute excitabilité. Quelle est la na- [illegible] cette altération? Il est probable qu'elle est liée à l'état [illegible] lequel la transmission du courant constitue le nerf, état [illegible] analogie avec ce qui se passe dans tous les autres cas, [illegible]re une polarisation des molécules alternant avec des [illegible]rges moléculaires. On conçoit que tant que le nerf a une [illegible] suffisante il réagisse dès que le courant cesse, pour que [illegible]olécules reprennent leur position naturelle, mais qu'il [illegible] arriver un moment où cette réaction n'ayant plus lieu, [illegible] un courant dirigé en sens contraire pour la déterminer. [illegible] fait important observé par Matteucci vient à l'appui de [illegible] manière de voir; ce savant physicien a observé que la [illegible]re d'un nerf, par exemple, du nerf crural d'un lapin, [illegible] le même effet qu'aurait déterminé le passage prolongé [illegible]rant dans la partie du nerf comprise entre les deux liga- [illegible] Ainsi, si l'on fait passer le courant au-dessous de la [illegible], on observe les contractions de la jambe, et si on le [illegible]er au-dessus, il n'y a plus de contraction, mais des [illegible] de douleur, parce qu'il y a communication avec le cer- [illegible]ans ligature intermédiaire. Il faut, pour bien faire cette [illegible]nce, avoir soin d'isoler le nerf des parties humides [illegible]entourent et de serrer convenablement la ligature; sans [illegible]e partie du courant peut passer au-dessus ou au-des- [illegible] la ligature et troubler les résultats. Il faut remarquer [illegible] ligature n'intercepte point le courant, mais affaiblit ses [illegible], de sorte que si l'on place l'un des pôles au-dessus, [illegible]re au-dessous de la ligature, les phénomènes sont les

mêmes que s'il n'y avait pas de ligature, mais seulem faibles. Pour toutes ces expériences ce qu'il y a de mie de se servir de la grenouille préparée de la manière h et de la suspendre par son nerf (fig. 257).

Un des caractères qui établissent la différence la pl quée entre l'action physiologique de l'électricité et autres agents, c'est la liaison qui existe entre le se propagation du courant et la direction des nerfs et ramifications. Nous avons même déjà remarqué que l électrique ne produit aucun des effets dus à l'excita nerfs quand il est transversalement Voici comment M démontré ce poir tant. Deux jambe nouille sont prépa parées (fig. 262), que leurs filets n croisent à angle d des nerfs est coup que les deux extr la section opérée une distance l'un tre de 2 centimètre

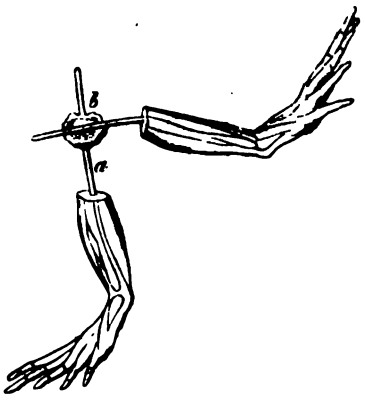


Fig. 262.

et seulement de 1 centimètre du nerf de l'autre ja passe à travers la section; une goutte d'eau distillée ét communication entre les deux tranches du nerf c touche alors les points *a* et *b* du nerf coupé avec les pô pile composée d'un assez grand nombre de couples; l traverse, non-seulement l'eau, mais le nerf interpos dant la jambe à laquelle ce nerf appartient n'éprou effet pendant que l'autre éprouve de fortes contraction fois, si la pile est encore plus forte, on finit par a quelques contractions dans la jambe dont le nerf est transversalement par le courant; mais elles sont beauc faibles que dans l'autre jambe.

Au milieu des recherches multipliées dont l'action p

a courant a été l'objet, nous nous bornerons à en signa-
re ici quelques-unes, soit à cause de leur importance,
e que nous n'aurons pas occasion d'y revenir, comme
autres, en nous occupant de l'électricité animale.

de celles que nous avons en vue, c'est la détermina-
M. Matteucci a essayé de faire du rapport qui existe

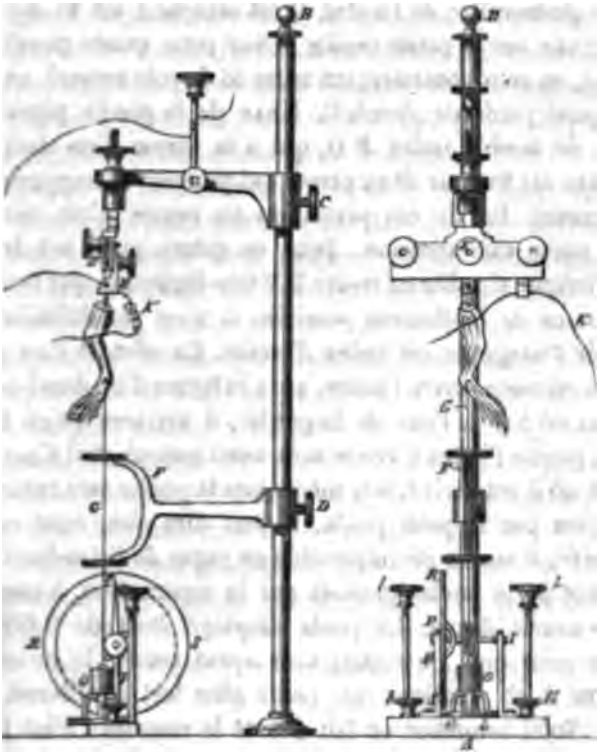


Fig. 263.

quantité d'électricité transmise et la contraction excitée
e quantité d'électricité dans un nerf d'un animal vivant
le plus récemment possible. L'appareil qu'il emploie
principalement dans une tige solide en laiton A B
3', fixée sur un plan de bois, et dans laquelle glis-
ngle droit deux pièces métalliques C et D, qui peuvent

se fixer en différents points par des vis de pression. La
porte la pince E, dans laquelle on introduit et l'on se
trois vis les morceaux de moelle épinière de la grenou
parée. L'autre pièce F, en forme de fourche, est dis
manière à avoir deux trous à ses deux extrémités, dans
est introduit et se trouve réglé un fil métallique très-n
fil G se termine, d'une part, par un crochet qui est fixé à
de la grenouille; de l'autre, il est attaché à un fil de
s'enroule sur la petite poulie I. Sur cette même pouli
roulé, en sens contraire, un autre fil de soie auquel es
un petit poids de plomb O. L'axe de la poulie port
pèce de double index P Q, qui a la forme d'un den
Cet axe est fixé sur deux pivots qui peuvent se rappro
ou moins. Un de ces pivots est au centre d'un ce
qui porte une division. Dans ce même pivot est i
une longue aiguille en ivoire T V très-légère, et qui to
le moins de frottement possible. Il n'est pas difficil
cevoir l'usage de cet index d'ivoire. En effet, si l'on
index en contact avec l'autre, qui a la forme d'un demi-c
et qui est fixé à l'axe de la poulie, il arrivera qu'en
cette poulie l'index d'ivoire sera aussi poussé, et il s'ar
point où il est arrivé, lors même que la poulie sera ram
position par le petit poids. Il faut dire que, sans c
d'ivoire, il aurait été impossible de juger de l'étendue
vement de la poulie produit par la contraction, à ca
très-courte durée. Le poids employé était de 0,6
assez pour que, la contraction ayant cessé, le mer
vienne à sa position; un poids plus fort tirailleraï
nerf. Voici comment on fait passer le courant : c'est
une demi-grenouille, à laquelle les muscles et les os d
ont été enlevés, qui est soumise à l'expérience. La d
nouille se réduit ainsi à un morceau de moelle épinièr
serré dans la pince E', au filament nerveux, à la cuis
jambe seule, ayant coupé la patte. Le crochet du
introduit entre l'os et le tendon d'Achille. Enfin une
d'acier doré est introduite dans les muscles de la cuiss
près possible de l'insertion du nerf; à cette aiguille

de cuivre K, très-mince et recouvert de soie, qui est fixé morceau E d'ivoire. Il est clair que, pour faire passer le à travers le nerf, il n'y a qu'à toucher avec les pôles de la tige A B dans un point quelconque, et le fil métal- K qui est soudé à l'aiguille d'acier.

Maintenant pour opérer, il faut faire passer un courant élec- ou une certaine décharge de la bouteille de Leyde par certaine longueur du nerf de la grenouille; l'effet électro-physiologique est la contraction du membre qui, dans un cer- temps, s'élève à une certaine hauteur. Mais la difficulté est faire passer des quantités d'électricité qui soient entre elles des rapports donnés, afin de les comparer à l'effet électro-physiologique correspondant. D'abord il faut employer un très-faible pour que les effets ne soient pas tous à leur ; le courant d'un couple, affaibli même par son à travers l'eau, est suffisant; puis, pour faire passer le même nerf, tantôt la moitié, tantôt le tiers ou le quart électricité, M. Matteucci interpose entre la pince et la cuisse deux, trois nerfs aussi semblables que possible, soit entre soit au nerf soumis à l'expérience; et admettant comme approximativement vrai que la moitié du courant passe dans des nerfs quand il y en a deux, le tiers quand il y en a et ainsi de suite, il se trouve réduire dans la proportion le courant qui passe par le nerf principal[1]. Voici une nombreuses expériences que M. Matteucci a faites de cette :

Nombre des nerfs.	Degrés de la contraction.
1	26°
2	14°
3	8°

Quoiqu'en général les résultats diffèrent assez notablement eux, ce qui est inévitable dans ce genre d'expériences, Matteucci croit pouvoir en conclure que *l'effet physiologique proportionnel à l'intensité du courant électrique.*

[1] Il est vrai qu'en augmentant le nombre des nerfs, le courant total doit aug- , mais comme les nerfs sont des conducteurs très-imparfaits, cette aug- n'est pas e.

Toutefois, il n'est pas probable que ce genre d'ac soumis à des lois aussi précises, et un savant allemm fait de grands et importants travaux sur ce sujet, M. Reymond, a cru pouvoir établir la loi fondamentale comme régissant l'excitation électrique, savoir : que *moteurs ne sont pas excités par la grandeur absolue sité*[1] *du courant, mais par les variations qu'éprouve l de cette densité d'un instant à l'autre ; l'excitation ces changements étant d'autant plus grande qu'ils ont rapidement, ou qu'ils sont plus considérables dans donné.* Or, cette loi, établie par de nombreuses expér peut se concilier avec celle de M. Matteucci. On peu l'a fait M. Du Bois-Reymond, figurer dans chaque cas par deux courbes, dans lesquelles les abcisses re le temps, et les ordonnées représentent dans l'une bes la densité du courant dans le nerf, et dans valeur de l'excitation ; mais ce ne sont que des très-approximatifs. Un cas très-curieux est celui d l'excitation est produite par une série de décharg sives qui se suivent très-rapidement les unes les a exemple au moyen d'un appareil comme la roue Masson, qui interrompt et rétablit le courant d'un très-rapide. L'effet d'une semblable série de déchar produire une contraction tétanique des muscles, con l'a observé le premier, et comme l'a signalé ensuite M plus de détails[2]. On est appelé souvent, dans les e d'électricité animale, à déterminer ainsi le tétano membres d'un animal.

Nous ne terminerons pas ce qui est relatif à l'acti rant électrique sur les nerfs, sans dire quelques mots cation qu'on en a faite à la construction d'un gal physiologique. Quoique le galvanomètre multiplicate

[1] M. Du Bois-Reymond désigne, par le nom de densité du cour section du circuit, le quotient de l'intensité du courant divisé pa de la section du conducteur.

[2] C'est un effet de ce genre qu'on éprouve dans l'expérience de l nous avons parlé dans le paragraphe précédent.

ievenu, surtout avec les perfectionnements que Du ond a introduits dans sa construction [1], un instru- nemment propre à la perception et à la mesure des us à l'électricité animale, cependant il est des cas où est insuffisant, et présente même des nts. Dans ces cas on peut se servir age du galvanoscope physiologique, i le premier fit usage en employant la préparée à la manière de Galvani Matteucci et Du Bois-Reymond ont l était préférable, au lieu d'employer, bili, la grenouille entière, d'en déta- ement une cuisse munie de son nerf, placer dans un tube verni pour la (fig. 264), de manière à ne laisser a portion du nerf qu'on veut insérer cuit soumis à l'expérience. Il est en tant d'être certain que, ni le courant a cuisse, ni aucun courant autre que étudie, ne traverse ce nerf. La con- la cuisse indique le passage d'un cou- e nerf, mais seulement au moment où commence et finit, ce qui fait que ce galvanoscope liquer si la décharge est instantanée ou continue.

Fig. 264.

itres applications qu'on a faites du galvanoscope que, nous en signalerons une qui est due à M. Du ond, et qui consiste à montrer le développement dynamique qui peut avoir lieu par l'induction opé- en d'un aimant ou d'un courant dans un circuit qui ermé, tel qu'un fil métallique. Il suffit de placer uille galvanoscopique à chacune des extrémités de a voir se contracter dès qu'on approche le courant t inducteur, pourvu qu'on la touche en même le doigt pour déterminer le passage du courant in- it même de toucher l'une des grenouilles pour que

l'autre se contracte aussi, si elles sont suffisamme
On peut obtenir encore un effet sur la grenouille
avec son nerf un conducteur imparfait, tel qu'un fil
unit les deux extrémités du circuit induit ouvert;
pour cela que la grenouille ne soit pas isolée et
touche le fil près de l'un des bouts du fil induit, e
pas très-sensible, elle n'éprouve de contractions q
bout près duquel est son nerf, est celui par où ar
cité positive. On peut remplacer le fil humide pa
sorte qu'on peut exciter des contractions dans l
galvanoscopique simplement en faisant passer un
duit à travers la portion du nerf qui est au-dessu
ture, ce qui peut donner lieu à des erreurs da
l'électricité animale si on n'y fait pas très-attentio

Cette dernière espèce d'action se rapproche beau
qu'a décrite M. Matteucci, sous le nom de contra
avec cette différence que, dans ce dernier cas, le n
nouille électroscopique est affecté non par un co
que, mais par son contact avec le nerf d'une autr
effet qui tient, comme nous le verrons, à l'électric
blement circule dans ce nerf. Au reste, ce n'est que
aurons étudié dans la cinquième partie consacré
de l'électricité, l'électricité animale elle-même, qu
rons avoir des notions plus justes et plus complèt
physiologique de l'électricité en général, dont les
pliquent nécessairement de ceux qui sont dus
propre de l'animal.

Dans tout ce qui précède nous ne nous sommes
des effets qui résultent du passage de l'électricité
soit à travers les nerfs seulement, soit à travers le
muscles à la fois, quand la décharge ou le courar
l'animal dans toute sa longueur. Il nous reste à d
mots de l'action du courant sur la fibre musculair
recherche est très-difficile, parce que, lors même q
à un muscle tous les filets nerveux qui sont visible
cile qu'il n'y reste aucune trace de substance ner
moins, on peut, en prenant toutes les précautio

r à des résultats qui sont passablement exacts. Ainsi
sure, en faisant passer le courant d'une pile de 30 à 40
s à travers le muscle pectoral d'un pigeon dépouillé
nerfs aussi bien que possible, que les fibres musculaires
tractent quand on ferme et qu'on ouvre un circuit, et
elle que soit la direction du courant relativement à celle
res. Ces contractions cessent pendant le passage du cou-
mais elles reparaissent, quoique plus faibles, lorsque
avoir interrompu le circuit, on le rétablit, à moins toute-
e le premier passage n'ait été très-prolongé, dans quel cas
tractions ne peuvent plus se produire.

Ilet que nous venons d'indiquer ne peut être dû qu'à l'ac-
irecte du courant sur la fibre musculaire, car, lors même
resterait quelques filets nerveux dans le muscle, comme la
re nerveuse est beaucoup moins conductrice, environ
0 fois moins que la matière musculaire, c'est essentielle-
elle-ci qui est traversée par l'électricité [1]. M. Matteucci, à
nous devons ces observations, a de plus prouvé direc-
t qu'aucune partie du courant ne passe à travers les
filaments nerveux quand il parcourt le muscle; pour
il prend le muscle de la jambe d'un lapin ou d'un chien,

[1] Pour déterminer la conductibilité relative des nerfs et des muscles, M. Mat-
pris sur un lapin récemment tué, un morceau assez long du nerf scia-
une couche de substance cérébrale, et un morceau de muscle enlevé à la
Il a réduit ces trois substances en tranches de même épaisseur, autant
ible, et il les a placées à la suite les unes des autres sur un plan iso-
il a fait passer par cette chaîne de substances animales le courant
de 12 couples. Il a touché alors avec les extrémités en platine d'un
mètre sensible, tantôt l'une, tantôt l'autre des substances animales, les
étant toujours tenus à la même distance, et il a obtenu ainsi les dé-
produites par des courants dérivés tirés dans les mêmes circonstances
substances nommées. Il a encore fait l'expérience d'une autre ma-
faisant varier la distance des deux fils de platine, de manière à avoir
dérivé de même intensité en opérant sur les trois substances. Le
dérivé, dans le premier cas, est d'autant plus fort que la substance est
conductrice; aussi est-il plus faible avec le muscle qu'avec le nerf,
le nerf qu'avec la substance cérébrale, d'où il résulte que cette sub-
conduit un peu moins bien que le nerf, et celui-ci quatre fois moins
environ que le muscle.

morts depuis assez longtemps pour que toute irritabilité laire ait disparu, puis il fait dans ce muscle une inci a introduit le nerf d'une grenouille galvanoscopique sible (fig. 264), de manière qu'il fût bien recouvert du Dès que les contractions qui se manifestent dans la g au premier moment ont cessé, il fait passer le coura pile de 20 à 30 couples à travers la masse du muscle quant les électrodes sur différents points de cette quoique ce courant énergique traverse le muscle da les directions, la grenouille n'éprouve aucune con cependant son nerf est contenu dans ce muscle e presque partie intégrante. Il faut avoir soin d'emp muscle dont l'irritabilité soit éteinte, car sans cela la g éprouve des contractions, qui sont dues au phénom contraction induite dont nous nous occuperons plus

Revenant à la contraction excitée directement sur le nous remarquerons encore que, lorsqu'elle a lieu par l' décharge d'une bouteille de Leyde, elle occasionne dans une raideur cadavérique persistante accompagnée d'u cissement; c'est un effet semblable à celui que Nobili, Matteucci, ont successivement obtenu en faisant pass rant discontinu à travers le nerf d'un animal, ce qui un véritable tétanos; tétanos qu'on peut faire cesse le passage d'un courant inverse de celui qui l'a produ coupant le nerf qui communique avec le membre téta

Nous terminerons ici ce que nous avons à dire po ment sur les effets physiologiques de l'électricité; no drons sur bien des points que nous avons omis, tels e lier que l'influence sur les effets de l'électricité des narcotiques administrés préalablement aux animaux, sur l'analyse des sensations que détermine chez les h passage de l'électricité dynamique dans diverses partie organes. Ces sujets, ainsi que d'autres analogues, t naturellement leur place dans le chapitre de la sixiè de ce traité qui sera consacré aux applications thérapeu l'électricité; et ils pourront être traités d'une mani coup plus complète alors, parce que nous aurons étudi

n'avons pas encore fait, les phénomènes relatifs à la pro-
ion de l'électricité par les actions physiologiques, qui sont
pés sous le nom d'*électricité animale*.

e des principaux travaux relatifs aux sujets traités dans ce chapitre :
y. — Décomposition électro-chimique des substances organiques. — *An-
de ch.* T. LXIII, p. 223, 255 et 261.
-Lassaigne. — Effets de l'électricité sur la fermentation du moût. — *An-
de ch.* T. LXXVI, p. 257.
querel. — Application des forces électro-chimiques à la physiologie végé-
— *Annales de ch. et de phys.* T. LII, p. 57.
Bouscs. — Influence de l'électricité sur la germination. — *Annales de
de phys.* (*nouvelle série*). T. II, p. 403. — Recherches électro-physiolo-
— *Annales de ch. et phys.* (*nouvelle série*). T. II, p. 403; t. XIX,
t. XXIII, p. 241. — *Trans. phil. de la Soc. roy. de Londres*, années
1847, 1849 et 1850. — Traité des phénomènes électro-physiologiques des
ux. — Paris, 1844, in-8° avec planches.
rochat et Becquerel. — Influence de l'électricité sur la circulation du
— *Bibl. univ.* (*nouvelle série*). T. XII, p. 394 (1837).
uigne. — Précipitation de l'albumine au pôle positif. — *Annales de ch.
phys.* T. XX, p. 97.
ussi. — Résumé de ses travaux électro-physiologiques. — *Annales de ch.
phys.* T. XXV, p. 58.
mboldt. — Irritation causée par les métaux sur les animaux. — *Annales
h.* T. XXII, p. 51.
— Expériences électriques sur un cadavre. — *Annales de ch. et de phys.*
, p. 337.
— Conductibilité électrique du corps humain. — *Archives d'électri-*
T. III, p. 534.
illet. — *Idem.* — *Compte rendu de l'Acad. des sciences.* T. IV, p. 791.
— Effets physiologiques des courants discontinus. — *Annales de ch.
phys.* T. LXVI, p. 5.
— Action du courant remplaçant celle des nerfs. — *Annales de ch.
phys.* T. XXII, p. 216.
— Électricité animale. — *Annales de ch.* T. XXIII, p. 276, et t. XXIX,
.
Matteucci. — Mémoires divers relatifs à l'action physiologique du courant. —
s de ch. et de phys. T. XL, p. 225; t. XLIII, p. 320; t. LVI, p. 387.
ch. — *Idem.* — *Annales de ch. et de phys.* T. XXXVIII, p. 225; t. XLIV,
.
Du-Bois-Reymond. — *Idem.* — *Ann. der physik passim.* — *Untersuchungen
thierische electricitat.* Berlin. 1848. T. I.

CINQUIÈME PARTIE

SOURCES DE L'ÉLECTRICITÉ

CHAPITRE PREMIER.

ÉLECTRICITÉ PRODUITE PAR L'ACTION DE LA CHALEUR.

§ 1. Développement de l'électricité par l'action calori dans les mauvais conducteurs.

Après avoir étudié les propriétés de l'électricité, soit rapport des lois générales auxquelles elle est soumise d différentes formes, soit sous le rapport des effets qu'ell duit dans les corps en les traversant, il nous reste à ex les divers moyens par lesquels on lui donne naissanc sources de l'électricité sont de deux espèces : *artificie naturelles*. Sous la première dénomination, nous comp l'action de la chaleur, les actions mécaniques et les chimiques. Nous rangeons sous la seconde l'électrici male et l'électricité atmosphérique. Nous allons som ment examiner ces différentes sources en cherchant à vrir les lois qui régissent le développement de l'élec à laquelle elles donnent naissance ; puis nous cherch après les avoir étudiées, ce qu'elles ont de commun principes généraux qui les rattachent les unes aux aut même temps que nous y ferons rentrer certains phéno dans lesquels il y a production d'électricité sans cause rente. Nous commençons cette étude par l'action de la c considérée comme source d'électricité, vu qu'elle est de sources celle qui est la moins complexe.

L'influence de la chaleur sur l'électricité a été aperçue d

niers temps où l'on s'est occupé des phénomènes élec-
nes; on a bien vite remarqué que l'élévation de tempéra-
facilitait le dégagement de l'électricité opéré par le frotte-
t dans le verre et les corps isolants, comme nous le verrons
le chapitre suivant. Il y a plus; l'élévation de tempéra-
suffit à elle seule sans autre action, pour rendre électriques
orps qui ne l'étaient pas. Cette propriété, constatée pour la
ière fois dans la tourmaline, a été reconnue appartenir à
tres cristaux et a reçu le nom de *pyro-électricité* pour la
guer de la *thermo-électricité*, dénomination qu'on a réser-
à l'ensemble des phénomènes électriques développés par la
eur dans les corps conducteurs, et qui feront l'objet des
graphes suivants.
Pline parle déjà d'une pierre dure violette ou rouge foncé, qui,
uffée au soleil ou frottée avec les doigts, attire des petits
s légers. A la fin du dix-septième siècle, des marchands
ndais rapportèrent de l'île de Ceylan un pierre à laquelle
turels avaient donné le no n de *t* , *l* ou *tire cendres*;
i, posée sur des cendres ch attirait et les repous-
ensuite, tandis qu'elle ne manif ait aucun phénomène
ble sur des cendres froid ; ce minéral était la tourma-
Æpinus, le premier ayant eu entre les mains en 1757 deux
malines polies destinées à servir d'anneau, fit une série
ériences qui établirent d'une manière précise les lois du
ppement de l'électricité par la chaleur dans ce cristal. Il
ta d'abord la présence de l'électricité libre dans la tour-
e chauffée par l'attraction et la répulsion qu'elle exerce
ivement sur un corps léger suspendu à un fil de soie;
tira même une étincelle visible dans l'obscurité; mais
rvation la plus importante qu'il fit, ce fut celle de la pré-
simultanée des deux électricités dans la même tourma-
dont l'une confinée dans e partie du cristal et l'autre
une autre; ces deux part constituant les deux pôles
iques opposés de la tourmaline. Æpinus avait cru pouvoir
en outre comme règle gé rale que les pôles électriques
dans la tourmaline, inégale ent chauffée, contraires de ce
s sont dans la ine chauffée également; il avait eu

sur ce point quelques contestations avec Wilson, et en
il restait bien des anomalies à expliquer quand Canton
trouver un principe important au moyen duquel il étu
de rendre compte de toutes les contradictions appar
régnaient entre les physiciens sur ce sujet. Ce princip
ce n'est pas la température absolue, mais le change
température qui rend la tourmaline électrique, et que
cité de chacun de ses pôles varie suivant que ce change
un réchauffement ou un refroidissement. Plus tard, B
reprit l'observation importante de Canton et analysa a
coup de clarté les diverses phases électriques de la to
dont il rendit compte d'une manière très-satisfaisa
une tourmaline placée dans un milieu dont elle p
température n'est point électrique. Transportée dans
plus froid auquel elle abandonne sa chaleur, elle pr
pôles électriques contraires, état qui cesse de nouveau
tourmaline a pris la température du milieu. Remis
premier milieu, la tourmaline se réchauffe et reprend
électriques, mais de signes contraires à ceux des
pôles, le pôle qui était positif pendant le réchauffem
nant négatif pendant le refroidissement et récipro
Cette loi n'est pas seulement vraie pour le cristal
entier, mais aussi pour chacune de ses parties sépar
sorte que si les deux pôles sont disposés de façon qu
réchauffe pendant que l'autre se refroidit, ils ont la m
tricité en même temps.

En résumé, l'état électrique de la tourmaline peut
six manières, savoir, en appelant A et B les deux pôl

A positif et B négatif;

A négatif et B positif;

A et B positifs;

A et B négatifs;

A positif et B non électrique;

A non électrique et B négatif.

Le premier état ayant été observé quand on tra
tourmaline d'un milieu froid dans un milieu chaud, o
le second quand, après avoir plongé le cristal dans u

nd, on le laisse refroidir après l'en avoir retiré. On obtient troisième état en tenant l'extrémité B pendant une demi-nute dans la flamme d'une lampe ou d'une bougie, parce que qu'on l'en retire, B se refroidit et que A au contraire se ffe par conductibilité; mais une fois que A a acquis la haute température qu'il puisse avoir, il se refroidit et nt négatif tandis que B reste positif. Le quatrième état nt de la même manière que le troisième, en chauffant A u de B. Pour déterminer le cinquième et le sixième, il de placer le cristal sur une feuille de tôle isolée qui est nue à une température constante au moyen d'un fer d, et de recouvrir la face su re d'une pièce métal-froide. La face qui repos la plaque de tôle chaude rve une température con tan et ne possède pas d'élec-é, tandis que l'autre qui reç de la chaleur par conducti-é, devient électrique ou pos ivement ou négativement, sui-qu'elle est la face A ou la face B.

gmann a encore démontré que les quantités d'électricité ive et négative développées dans le cristal sont exactement la même proportion; il a constaté en effet qu'un vase mé-que isolé rempli d'eau chaude ne devient point électrique d on y plonge une tourmaline, preuve que les deux élec-is contraires qu'elle y acquiert se neutralisent, et que par quent elles sont égales.

doit encore à Canton une observation très-importante, que lorsqu'on opère non plus sur des tourmalines apla-comme celles qui servent de pierres pour les bagues, mais des tourmalines allongées dont les pôles sont à une dis-d'un centimètre au moins l'un de l'autre, on trouve en t la pierre en deux ou trois fragments par exemple, que n d'eux a deux pôles comme le cristal entier, et que les mités des fragments qui étaient en contact avant la rup-, présentent des pôles contraires. On peut pousser la divi-mécanique d'un cristal pyro-électrique aussi loin qu'on le sans faire disparaître les électricités contraires de chaque ent. Brewster ayant réduit une tourmaline en poudre fine, observa que cette poudre restait attachée à une lame

de verre sur laquelle il l'avait placée, dès qu'il chauffait la
et que les petits grains, quand on les agitait, s'agglomérai
globules, propriété qui disparaissait dès que l'élévation
température cessait d'avoir lieu. Vue au microscope,
poudre impalpable présente de petits fragments anguleu
comme le cristal entier, sont doués de pôles électriqu
qu'on les soumet à un changement de température.

Quand on place une tourmaline de manière que son
mité inférieure et la supérieure soient les places des deu
électriques, toute ligne verticale qui joint ces deux p
nomme *l'axe électrique* du cristal. Un plan qui co
cristal perpendiculairement à l'axe détermine deux fa
deviennent également deux pôles contraires, soit l'un à l
soit à celui qui existait déjà sur l'autre face du même fra
On peut comparer sous ce rapport la tourmaline, soi
aimant dans la théorie de Coulomb [1], soit encore mieu
pile sèche [2] qui, lorsqu'on la partage en deux dans une
quelconque de sa longueur, présente toujours deux pôle
sés. L'analogie est tellement complète qu'on peut imit
une pile sèche tous les phénomènes que présente la tour
Ainsi si l'on applique l'une contre l'autre deux piles sèc
leurs pôles semblables, on a aux deux autres pôles li
même électricité, de la même manière qu'on a la même
cité aux deux extrémités de la tourmaline, si l'une d'e
soumise à une élévation et l'autre à un abaissement
pérature. Wilke ayant chauffé une tourmaline d'un s
avec les rayons solaires concentrés au foyer d'une lentille,
de l'électricité négative aux deux pôles et de la posi
milieu.

Pour observer les différents phénomènes électriques q
sente la tourmaline, on peut, comme Becquerel, la plac
une petite chape de papier suspendue à l'extrémité d'u
cocon fixé verticalement dans un cylindre de verre po
même sur une lame de métal dont on élève la temp

[1] Tome I, page 189, fig. 78.
[2] Tome I, page 52.

, 265); à mesure que l'intérieur du vase s'échauffe, la tem-
ature de la tourmaline s'élève, et aussitôt qu'elle devient
trique il suffit de lui pré-
er un corps faiblement élec-
é pour observer les attrac-
s et les répulsions. Pour
ux saisir les changements
polarité dans la tourmaline,
sont quelquefois très-courts,
ut placer dans l'intérieur
la cloche, et à peu de dis-
ce de chaque extrémité du
tal, deux tiges métalliques
icales qui communiquent
cune avec l'un des pôles
ne pile sèche; aussitôt que
tourmaline devient électri-
, elle se place entre les deux

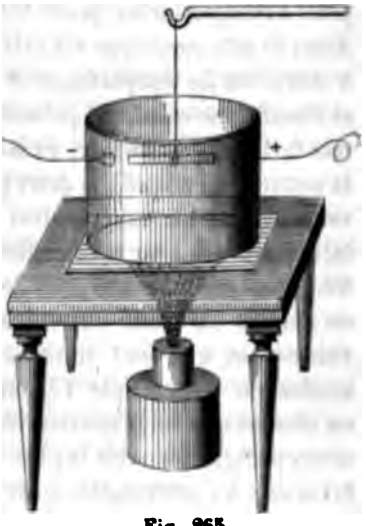


Fig. 265.

s, les pôles contraires en regard; il est facile de constater
si son état électrique et la nature de ses pôles [1].
Biens, et les physiciens allemands qui se sont beaucoup occu-
des phénomènes pyro-électriques, ont adopté une dénomi-
ion qui nous paraît très-heureusement choisie pour distin-
r l'un de l'autre les deux pôles de la tourmaline, et en
éral des cristaux pyro-électriques. Ils nomment pôle *ana-*

[1] Un fait assez curieux, que M. Becquerel a constaté au moyen du même appareil, a polarité électrique que peut acquérir un corps mauvais conducteur placé ans mêmes circonstances que la tourmaline, quand on en approche un corps isé. Ainsi si l'on place dans la chape en papier un petit tube d'un verre peu hygrométrique, de 1 millimètre de diamètre, et de 1 à 2 centimètres de eur, et qu'on lui présente un bâton de gomme laque électrisé, il est attiré ite de la décomposition de son électricité naturelle. En élevant la tempé-e jusqu'à 30°, le tube acquiert la polarité électrique qui disparaît dès que la e laque électrisée est retirée; mais si l'on fait naître cette polarité au ent où, après avoir éteint la lampe, la polarité commence, elle persévère ou moins de temps lors même que la source électrique qui l'a produite a u. Il suffit de réchauffer de nouveau le milieu où est le petit tube de verre que la polarité disparaisse.

logue celui pour lequel le signe qui représente la vari
la température et la nature de l'électricité sont sembl
pôle *antilogue* celui pour lequel ces signes sont co
Ainsi le pôle analogue est celui qui s'électrise en + q
a élévation de température et en — quand il y a abai
et l'antilogue celui qui présente les phénomènes oppo
très-facile de déterminer, au moyen d'un électroscope o
la nature électrique des deux pôles, mais il l'est moin
ver leur position exacte, ainsi que celle de l'axe électr
faces naturelles ou artificielles qui limitent le cristal
fréquemment son axe sous des angles aigus et obtus
on n'a pas les pôles eux-mêmes, mais des places qu
voisines et qui sont limitées souvent par des arêt
angles où s'accumule l'électricité développée aux
en résulte que bien souvent les points où l'indication
troscope fait découvrir le plus d'électricité ne sont qu'
favorable à l'accumulation de l'électricité, et qui es
très-voisine du pôle électrique, et non ce pôle lui-mê
quefois des déformations et des fissures dues à l'alté
cristal deviennent l'origine d'une distribution partic
l'électricité, qui pourrait donner lieu à des erreurs su
des pôles et de l'axe. Ainsi, à moins qu'on ne trouve p
des faces perpendiculaires à cet axe, il faut, pour d
sa position, recourir à des mesures cristallograph
optiques.

La tourmaline n'est pas le seul cristal pyro-électri
Canton avait trouvé la même propriété dans la topaze
Brard dans l'axinite; Hauy dans la boracite, la scol
titanite, etc.; Brewster dans la mésolite, le quartz et
cristaux artificiels. Les phénomènes électriques se ma
d'une manière à peu près semblable dans tous ces
aussi leur étude détaillée n'offrirait aucun intérêt,
stait pas une liaison remarquable entre la forme des
et leur polarité électrique. Hauy, le premier, l'avait
il avait remarqué que les substances minérales cristall
présentent les phénomènes pyro-électriques sont celles
cristaux dérogent à la loi de symétrie, c'est-à-dire

ies opposées correspondantes ne sont pas semblables par
mbre, la disposition et la figure de leurs faces, le sommet
est le plus chargé de facettes étant celui qui donne l'élec-
té positive par refroidissement. Cette observation a été plus
l confirmée et étudiée par Kohler, par Hankel, par Rose et
Riess. Tous les cristaux pyro-électriques ont pour leurs
s polaires une forme qui est due à la combinaison d'une
e homo-édrique avec une forme hémi-édrique. On sait
les formes *homo-édrique* et *hémi-édrique* résultent elles-
mes de la combinaison de deux formes simples, de telle
ière que pour la première toutes les faces de l'une des
mes sont combinées avec toutes celles de l'autre, tandis que
r la seconde il manque la moitié des faces de l'une des
mes. On en a un exemple bien simple dans la combinaison
ube avec l'octaëdre; dans l'état homo-édrique cette com-
inaison présente un cube dont les huit angles sont tronqués,
is que dans son état hémi-édrique elle représente un cube
quatre angles seulement sont tronqués, alternant avec
angles parfaits. Or, dans ce cas-ci, la combinaison de la
e homo-édrique avec la forme hémi-édrique, qui produit
e polaire d'un cristal pyro-électrique, engendre un té-
re par la réunion des quatre faces qui ont remplacé les
s du cube. Mais s'il est nécessaire, pour qu'un cristal soit
électrique qu'il ait des formes polaires hémi-édriques, il
it pas de là nécessairement que tous ceux qui ont ces
s soient pyro-lectriques.
nd on veut étudier la pyro-électricité de cristaux divers
n'ont pas tous, comme la tourmaline peut l'avoir, une
allongée, on ne peut employer le procédé de Becquerel
plus haut (fig. 265); on se sert alors avec avantage
électroscope à piles sèches muni d'une feuille d'or qui
rtée par une tige en forme de cône tronqué dont la
e supérieure reçoit la face électrique du cristal. Il faut
bien attention d'éviter tout frottement en posant le cristal,
ans cela on obtient souvent des signes négatifs qui sont
s frottement de ses faces. On prend le cristal avec une pince
ée de liége qu'il faut revêtir d'une feuille d'étain pour

l'empêcher de conserver de l'électricité. Pour per
signes électriques qui accompagnent le refroidis
cristal, on a soin de le faire chauffer dans un creuse
laine rempli de grenaille de plomb aussi fine qu
qu'on met en communication avec le sol par un c
afin de faire disparaître l'électricité produite par l
fement qui pourrait rester adhérente à la surfac
tal. On le laisse plongé dans la grenaille plus ou
temps, suivant sa masse, pour qu'il prenne la t
indiquée par un thermomètre qui y est aussi pla
faire disparaître l'électricité qui peut se développer
face par le frottement que lui fait éprouver la grena
ment où on l'en retire, il faut avoir soin de le faire
pidement à travers une flamme d'alcool.

En général, les expériences se font mieux en ob
lectricité qui se dégage pendant le refroidissemen
qui résulte du réchauffement, vu que le réchauffem
jamais s'opérer avec autant de régularité que le
ment; toutefois, on peut contrôler les résultats
chauffant avec une lampe à alcool l'une des ext
cristal pendant que l'autre est en communication
troscope. Mais on ne peut pas ainsi déterminer la
pôles électriques; seulement on s'assure de la nat
électricité.

Si nous appliquons maintenant les procédés exp
que nous venons de décrire à
la pyro-électricité des diver
nous trouvons des résultats i
dont nous nous bornerons à
plus importants.

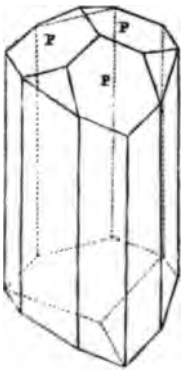


Fig. 266.

La tourmaline affecte le plus
forme d'un prisme à neuf côtés
produit soit par un prisme à
dont les arêtes ont deux petite
un prisme à six côtés, dont t
sont remplacées chacune par u
extrémités du prisme sont fo

faces du rhomboèdre principal, ou simplement par les du prisme fondamental à trois pans. Les faces du rhom- re principal reposent à l'une des extrémités du cristal sur ces, et à l'autre extrémité sur les arêtes du prisme à trois ; la première de ces extrémités est le pôle électrique *ana-*, la seconde le pôle *antilogue ;* les arêtes latérales du prisme sentent la direction de l'axe. Quelquefois le rhomboèdre cipal manque, mais on peut apprécier sa position d'après utres faces terminales. L'intensité de l'électricité dans les es conditions de température varie avec chaque échantillon ristal ; elle est plus grande en général dans les tourmalines uleurs claires, à masse pure et transparente ; cependant on re quelquefois des tourmalines très-électriques parmi celles ont noires et non transparentes. Les dimensions du cristal ent aussi sur l'énergie de ses propriétés électriques, les épais et les plus longs étant ceux où cette énergie est la grande [1]. La tourmaline ne donne en général que des s électrostatiques ; toutefois Du Bois-Reymond a réussi à nir un courant électrique en serrant entre deux lames de ine communiquant avec les bouts du fil d'un galvanomètre, deux pôles d'une tourmaline noire de 25 millimètres de gueur sur 7 millimètres d'épaisseur, qu'il chauffait avec une me d'alcool ; la déviation du galvanomètre avait lieu en sens traire quand, au lieu de chauffer la tourmaline, on la re- lissait en l'humectant avec de l'éther sulfurique. Le cou- partait du pôle analogue pendant le réchauffement, et du antilogue pendant le refroidissement. Il est probable que tourmaline était d'une nature plus conductrice, ce qui e dans les tourmalines opaques qui renferment quelques les métalliques dont la présence est probablement aussi la e de leur aptitude moindre à se charger d'électricité que.

[1] Cependant M. Becquerel a remarqué que des fragments obtenus par la rup- d'une tourmaline un peu longue, mais mince, sont plus fortement électri- que la tourmaline entière ne l'était. Il a même trouvé une tourmaline qui, ne point électrique, a donné, en étant partagée en deux, des fragments qui manifeste des signes prononcés d'électricité.

M. Forbes, qui a fait un grand nombre d'expérience sujet, a trouvé un cristal de tourmaline dont la struct raissait régulière à la vue, mais qui jouissait de la p extraordinaire de présenter, en se refroidissant, un pôl tricité positive à chacune de ses extrémités. Mais il a que la portion centrale du cristal possédait un excès d cité négative. Tout porte à croire que ce cristal était un c'est-à-dire un cristal formé de deux autres accolés faces symétriques qui possèdent par conséquent la mê rité électrique. M. Forbes, dans les nombreux éch qu'il a examinés, a trouvé, contrairement à M. Be qu'en général les morceaux de tourmaline les plus lo ceux qui donnent les signes électriques les plus int section égale; mais il ne paraît pas exister de rapport longueur et l'intensité.

Le *silicate de zinc* est un des cristaux les plus parf électriques; le plus léger changement de températu pour rendre son électricité sensible. Son pôle analogu seul qui soit parfaitement cristallisé, le pôle antilogu général tronqué et présente très-rarement les faces na vu que l'accroissement du cristal s'opère par cette e Du reste, les deux extrémités polaires, comme dans cristaux électriques, ont une cristallisation différente. primitive du silicate de zinc est un octaèdre rectangula il se présente en prismes hexaèdres à sommets dièdres.

La *scolézite* (silicate de chaux et d'alumine [1]) se prés la forme de cristaux groupés ensemble de manière à n der qu'une seule extrémité cristallisée régulièrement, est pyro-électrique et forme le pôle antilogue, tandi

[1] Composition de la scolézite :

Silice.	46,25
Alumine.	24,82
Chaux.	14,20
Soude.	0,39
Eau.	13,64
	99,80

ogue serait à l'extrémité engagée et où convergent cations; mais le faisceau cristallisé se résout le plus u point de convergence en une masse fibreuse serrée pas électrique et qui ne le devient que là où l'on peut r des aiguilles cristallines nettement formées; son rique se confond avec son axe cristallin. La scolé- est très-facilement électrisable, l'est encore, comme ter l'a remarqué, quand même la chaleur en lui enle- eau de cristallisation l'a convertie en une poussière ce qui prouve que c'est aux particules seules des t non à leur masse, qu'appartient la pyro-électricité. souvent que les cristaux de la scolézite étant maclés, aités qui ont des pôles opposés sont réunies et qu'il développement sensible d'électricité par la chaleur; n enlève par le polissage l'un des cristaux qui forment l'autre est toujours électrique.

te (silicate de chaux et d'alumine [1]) est faiblement ; il faut la chauffer jusqu'à 120° pour avoir des électricité, et certains échantillons même très-bien s quelquefois n'en donnent point. En général les pôles s sont plus énergiques que les analogues; il semble- axinite est formée de deux cristaux dans lesquels les riques ont une direction opposée.

cite (magnésie boratée) est fortement électrique; elle ixes électriques; les quatre pôles antilogues sont sur brillantes du tétraèdre et les quatre pôles analogues

r contient moins d'alumine et plus de chaux que la scolézite. Voici on :

Silice.	43,680
Alumine.	15,630
Chaux.	20,670
Oxyde ferrique. . . .	9,450
Oxyde manganique. . .	3,050
Magnésie.	1,700
Potasse.	0,640
Acide borique. . . .	5,610
	100,456

sur les angles du cube, car la boracite se présente à no
la forme d'un cube modifié la plupart du temps sur le
et sur les angles solides, de telle sorte que ces dernie
gent complétement à la loi de symétrie. Réduite en p
boracite est encore électrique, quoiqu'on ne puisse d
au microscope de formes cristallines dans les grains d
sière qu'elle forme. La boracite semble présenter une e
à la loi générale que les électricités opposées ne se ma
au même pôle qu'autant qu'il y a inversion dans la m
la température. En effet en chauffant de la boracite d
grenaille de plomb avec toutes les précautions poss
voit le pôle antilogue, par exemple, donner constam
l'électricité négative avec une température ascendant
204°, puis en donner de la positive de 204 à 256°;
température descendante il donne de la négative de 23
et revient à son état normal en donnant de la positive
sous de 212°. Cette exception n'est probablement qu'a
vu qu'elle se manifeste d'autant plus facilement que
du cristal est moins homogène. Une différence dans
ture de l'enveloppe du cristal et dans celle de son n
nécessairement accompagnée d'une différence dans la
tibilité pour la chaleur et dans le développement de
cité de chacune des deux parties. Dès qu'on sort la bo
creuset où elle a été chauffée pour l'exposer à l'air, l
est facilement refroidie et recouvre un noyau encore
sorte que l'électroscope doit indiquer la différence en
électricités opposées, savoir celle de l'enveloppe qui
chaleur du noyau central et celle de ce noyau qui se
L'électricité négative provient du noyau; aussi pour q
tricité qui vient de l'enveloppe l'emporte, il faut chau
ci très-fortement. Il peut arriver que l'électroscope ne
point d'électricité comme cela a lieu aussi après le
échauffement pour la tourmaline, l'axinite et la topa
tient, dans tous ces cristaux également, à ce que l'élec
noyau est dissimulée au commencement par celle d
loppe qui est de nature contraire. Or, il se trouve que
nière peut l'emporter sur la première dans la boracite,

tructure particulière du cristal et de sa facilité à devenir que.

rhodizite ressemble beaucoup à la boracite quant à sa et à sa manière d'être sou le rapport électrique ; aussi ne nous en occuperons pas.

prehnite (silicate de chaux et d'alumine [1]) présente dans o-électricité un caractère part ier, c'est que ses deux lectriques sont tournés l'un v l'autre de telle manière s pôles analogues se confo nd t en un seul, tandis que ilogues sont distincts, ce fait que le cristal est tri-e. Ainsi la petite diagonale de la base donne la direction ux axes dont le pôle analogue commun est au milieu de ligne, tandis que les deux pôles antilogues sont à ses nités, et cela a lieu pour toute la masse du cristal. Il en e que les arêtes latérales de la base tronquée possèdent ricité antilogue dans toute leur étendue, tandis que ricité analogue se trouve au milieu de la face. On nomme *ux-polaires* les cristaux dont les pôles électriques sont lisposés.

topaze (fluosilicate d'alumine [2]) est un cristal du même ; elle possède aussi deux axes électriques dans la direc-e la diagonale la plus courte de la base du prisme.

n sa composition, qui diffère notablement de celle de la scolézite et de :

Silice.	44,10
Alumine.	24,26
Chaux.	26,43
Protoxyde de fer. . . .	0,74
Eau.	4,18
	99,71

quelques variétés qui renferment moins de chaux et plus de protoxyde

n la composition de la topaze :

Silice.	34,36
Alumine.	57,74
Acide fluorique.	7,77
	99,87

Les deux pôles analogues sont au milieu de la courte
nale, les deux pôles antilogues sont dans les arêtes la
tronquées. Une topaze qui aurait une forme complète,
dire celle d'un prisme à quatre faces avec des extrémité
tues à quatre pans, ne serait point électrique à ses deux
mités, mais l'électricité antilogue se présenterait sur les
latérales tronquées dans toute leur étendue et de là di
rait rapidement sur les faces latérales, et disparaîtrait
arêtes latérales vives ainsi que sur ces arêtes mêmes
aurait point d'électricité analogue sur toute la surface
tal; elle serait toute intérieurement. Mais en fait les
s'écartent beaucoup de ce caractère normal. En altér
arête latérale vive on provoque la présence de l'électri
logue; les arêtes terminales mêmes reçoivent de l'é
des points électriques qui en sont le plus rapprochés
pointe terminale quand elle est tronquée, ce qui e
ordinaire, dégage une faible électricité analogue. Il r
là, que la distribution des électricités analogue et anti
singulièrement modifiée dans la topaze, soit par des in
tés naturelles dans son état cristallin, soit par celles q
minent des ruptures artificielles.

M. Forbes, qui a étudié la pyro-électricité de la top
la boracite, a trouvé, comme l'avait déjà remarqué
querel, que l'intensité de l'électricité atteint son m
quand la vitesse du refroidissement est devenue com
ment plus faible. Il a observé en particulier que la to
sède la propriété de conserver son électricité longten
que la température a cessé d'éprouver des changem
effet dépend uniquement de la conductibilité de la pi
on conçoit très-bien qu'il puisse se faire que le crist
nant moins conducteur à mesure que la chaleur dim
recomposition des deux électricités mette plus de tem
fectuer. Ainsi ayant obtenu une déviation de 115° de l
de l'électromètre de torsion de Coulomb, en lui pr
un cristal de tourmaline peu d'instants après qu
devenu électrique par la chaleur, au bout de 20" l
tion était à peine diminuée; au bout de 40", elle étai

[illegible]° et au bout de 60", de 85°. Après plusieurs heures le [illegible] était encore fortement électrique. M. Forbes a obtenu des [illegible]ats semblables avec plusieurs autres cristaux; il lui [illegible]sait, d'après ses recherches, que dans tous les minéraux [illegible]culté qu'éprouvent les deux électricités à se séparer, et [illegible]conséquent à se recombiner, augmente avec leur masse; de [illegible]ulte que des cristaux minces sont plus facilement électri-[illegible] par la chaleur, mais le demeurent moins longtemps.

[illegible] *titanite*, le *spath pesant* et le *cristal de roche* donnent dans [illegible]ques cas des signes de pyro-électricité; mais ces signes sont [illegible] réguliers, et on n'a pas encore réussi à déterminer les axes [illegible]iques de ces cristaux.

[illegible] très-grand nombre de cristaux, outre ceux dont nous [illegible] parlé, ont été examinés avec soin par MM. Rose et Riess [illegible] font manifesté aucune trace de pyro-électricité; mais ces [illegible]ats négatifs ne sont pas complétement concluants. En [illegible], on trouve souvent parmi les cristaux pyro-électriques des [illegible]tillons qui ne le sont pas, soit par l'effet de quelque cause [illegible]gmente leur conductibilité intérieure, soit par un mode [illegible]oupement de leurs molécules intégrantes qui dissimule [illegible] électrique que développe dans ces molécules le mouvé-[illegible] de la chaleur. Il peut donc arriver que parmi les cristaux jusqu'ici n'ont pas paru pyro-électriques, on trouve des [illegible]tillons qui soient de nature à l'être.

[illegible]dépendamment des cristaux naturels, il s'en trouve plu-[illegible]s d'artificiels qui sont aussi pyro-électriques; l'un des [illegible]ipaux est la *struvite* qui est un phosphate ammoniacal de [illegible]ésie formé par la décomposition prolongée de matières [illegible]les. La struvite est un prisme rhomboédrique vertical, [illegible]iné à l'une de ses extrémités par une surface plane, et à [illegible]re par les faces d'un prisme transversal. Elle a un seul [illegible]lectrique qui est dans la direction du prisme vertical; le [illegible] analogue est à la face terminale droite et le pôle antilogue [illegible] l'arête du prisme transversal de l'autre face. Le cristal [illegible]ent facilement électrique; la chaleur de la main suffit pour [illegible]re sensible l'électricité de ses deux pôles.

[illegible]utre le cristal que nous venons de nommer, trois autres

également artificiels parmi tous ceux que Brewster a
ont été reconnus généralement comme pyro-électriq
sont le *sucre* et les deux *acides racémiques*. Il faut avoir
ne pas prendre l'acide racémique ordinaire, car il est
pyro-électrique, tandis que l'acide uvique qui sous le
chimique lui est semblable, l'est très-fortement. Cela t
que, comme M. Pasteur l'a démontré, l'acide racém
formé de deux acides chimiquement identiques, mais
dissymétriques sous le rapport moléculaire, l'un faisant
le plan de polarisation à droite, et l'autre le faisant t
gauche. Or ces deux acides, dont le premier est ide
l'acide uvique, sont également doués d'une très-fo
électricité; ils ont un seul axe électrique dans la court
nale de la base du prisme.

En résumé il résulte de l'étude détaillée que nous v
faire de la pyro-électricité des cristaux, que ce phéno
probablement beaucoup plus général qu'on ne le cr
qu'il n'a lieu qu'autant que la substance est à l'état
et qu'il exige pour se manifester une dissymétrie dans
ajoutons que la propriété qui donne naissance au ph
appartient non à la masse, mais à chaque molécule d
qu'elle est due très-probablement à la manière dont le
sont groupés pour former la molécule intégrante et
ture de l'équilibre électrique qu'entraîne dans cette
le mouvement de la chaleur.

M. Becquerel estime aussi qu'il s'opère par la chal
les cristaux une dilatation qui sépare les plans de cl
qui produit un dégagement d'électricité analogue à ce
lieu dans le clivage, comme nous le verrons dans le
suivant. En effet, quand on clive une topaze dans le
pendiculaire à l'axe, les deux faces séparées se trouv
deux états électriques différents, de sorte qu'on peut c
la chaleur comme opérant une espèce de clivage et lib
deux électricités qui semblaient être dissimulées avan
ture.

Nous reviendrons du reste, après avoir étudié les eff
triques de la chaleur dans les corps conducteurs, s

nce remarquable de l'arrangement des particules dans les mènes pyro- et thermo-électriques.

Dégagement d'électricité par l'action calorifique dans les corps bons conducteurs. — Courants thermo-électriques.

Seebeck découvrit en 1823 qu'on peut déterminer un t électrique dans un circuit tout métallique uniquement blissant une différence de température entre un point circuit et les autres. La première expérience fut faite en t, au moyen d'un barreau de bismuth *o s* d'une lame de *s c s* soudés bout à bout, une espèce d'arc (fig. 267), l'intérieur duquel une aiguille aimantée osait par sa chape sur une pointe. L'ap- étant placé dans la direction du méri- agnétique pour que l'aiguille librement due fût bien parallèle aux deux pièces ques entre lesquelles elle était placée, sait de chauffer légèrement avec une

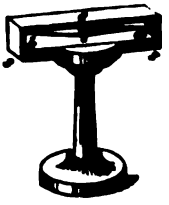


Fig. 267.

à alcool l'un des deux points de soudure, pour ob- dans tout le circuit un courant électrique dont la pré- était accusée par une déviation prononcée de l'aiguille. de la déviation et par conséquent du courant changeait t que c'était l'une ou l'autre des deux soudures qui était ée; il changeait également quand au lieu de chauffer, on lissait la même soudure. Il est donc nécessaire d'établir différence de température entre les deux soudures pour y ait courant; si elles sont exactement à la même tempé- il n'y a pas d'effet.

beck donne le nom de *thermo-électrique* à ce courant et ple qui l'engendre pour le distinguer du courant et du *hydro-électriques* autrement appelés courant et couple ques.

beck remarque encore qu'en remplaçant le barreau de uth par un barreau d'antimoine, mais en ayant soin de r toujours l cuivre, le sens du courant devient

inverse dans les mêmes circonstances de ce qu'il était dans le premier cas; ainsi avec cuivre et bismuth, le courant est dirigé du bismuth au cuivre à travers le point chauffé et par conséquent du cuivre au bismuth à travers le point non chauffé; et avec cuivre et antimoine il est dirigé du cuivre à l'antimoine dans la partie chauffée et de l'antimoine au cuivre dans la partie non chauffée. Aussi pour obtenir l'effet le plus grand, il faut former le couple thermo-électrique d'une barre de bismuth (fig. 268) en forme d'arc *scs'* dont les deux extrémités viennent reposer sur les deux extrémités d'un barreau d'antimoine *ss'*; on substitue à l'aiguille du premier appareil une aiguille astatique dont l'axe passe librement à travers une ouverture faite au milieu de la lame de bismuth; il suffit, quand on a disposé l'appareil dans le méridien magnétique, de pincer entre ses doigts les deux métaux à l'un de leurs points de contact pour déterminer entre ce point et l'autre une différence de température capable de faire dévier l'aiguille de plusieurs degrés.

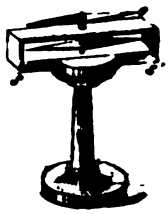


Fig. 268.

Seebeck parvint encore à produire des courants thermo-électriques en composant les deux parties du couple d'un même métal, mais il ne réussit qu'avec des métaux qui ont une texture cristalline bien prononcée, ce qui établit une différence d'homogénéité entre leurs différentes parties, ou avec deux portions du même métal rendues hétérogènes directement, tels que deux morceaux d'acier, l'un doux, l'autre trempé.

Reprenant cette dernière partie des recherches de Seebeck, divers physiciens parvinrent à produire des courants thermo-électriques dans les corps homogènes. Yelin montra qu'il suffit de chauffer l'une des extrémités d'un barreau de bismuth pour agir sur une aiguille aimantée, en le plaçant parallèlement au-dessus ou au-dessous de cette aiguille : le sens de la déviation varie suivant qu'on approche de l'aiguille l'extrémité chaude ou froide du barreau de bismuth; on obtient les mêmes résultats pour chacune des extrémités du barreau quand on le chauffe à son milieu et que l'on maintient ses extrémités froides.

reconnu que l'action thermo-électrique des barques dépend de la forme que leur a donnée la manière dont ils ont été refroidis dans leurs diffé-, ce qui laisse entrevoir une relation entre la ou généralement entre la constitution moléculaux et ce genre de propriétés. Il est évident que le température entre les divers points de ces métalliques détermine la production de courants e, qui agissent sur l'aiguille d'une manière anarants d'induction que produit sur un disque ou métallique l'approche d'un aimant. Seulement ermo-électriques ne sont pas instantanés comme on. Quant à la direction de ces courants élec-t liée évidemment avec le sens de la propagation et avec la forme et la texture intérieure des mé-l'expérience.

a obtenu des résultats plus précis avec des barques et coniques, soit de bismuth, soit d'antirants étaient, en général, dirigés de la partie artie froide, du moins dans les cônes dont on refroidissait la base. Dans les cylindres, la distrirants était assez régulière : en chauffant uniformé-extrémités d'un cylindre d'antimoine, on trouves neutres déterminées sur la surface par un plan xe du cylindre et des courants dirigés le long atrices du cylindre. M. Sturgeon a fait égale-l nombre d'expériences sur des rectangles et des lliques homogenes; mais avant de les exposer, arler des résultats importants qu'avait obtenus ongtemps auparavant.

le M. Becquerel est tout différent de ceux mis en eck et par les physiciens dont nous avons parlé. Il ven du multiplicateur, en ayant soin de se servir ateur à fil gros et court, afin que les courants ques, produits dans un circuit tout métallique, sent pas une résistance trop grande dans leur s le fil de l'instrument. Ayant tourné en spirale

les deux bouts du fil de cuivre du multiplicateur, il qu'il suffisait pour engendrer un courant de chauffe ces bouts à une lampe à alcool et de le toucher avec l'i meuré froid; en séparant les deux spirales et en ren le contact à chaque oscillation de l'aiguille de l'instru obtenait des déviations très-considérables. Des fils d et d'argent donnent naissance au même phénomène de cuivre, à l'intensité près, qui varie avec le métal ainsi, avec le platine, l'une des spirales doit être porté cerise, l'autre restant à la température ordinaire, ta vec le fil de cuivre il n'est pas nécessaire de chauffe du rouge naissant pour obtenir un courant très- M. Becquerel, dans ses premières expériences, avait avec chacun des fils soumis à l'expérience, un galv multiplicateur complet, mais cela n'est pas nécessair de fixer à chacune des extrémités du fil de cuivre d' nomètre ordinaire un bout du fil sur lequel on veut ayant soin de prendre ces deux bouts assez longs p chaleur ne puisse pas se propager d'une manière se qu'au point où ils sont en contact avec le fil du galv Ajoutons que dans les expériences qui précèdent l était dirigé de l'extrémité chauffée à l'extrémité froide à travers leur point de contact, et par conséqu froide à la chaude à travers le fil du galvanomètre.

Il semblerait, d'après ce qui précède, qu'il suffirait par un fil métallique les deux bouts d'un galvanomè chauffer ce fil en un point quelconque de sa longu avoir un courant électrique. Or, M. Becquerel a rema quelle que soit la nature du fil conjonctif, on n'obti effet en opérant ainsi, du moins si le fil est assez long

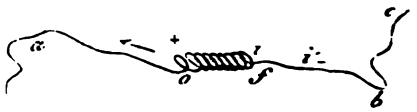


Fig. 269.

chauffé assez distant pour que la chaleur ne parvien qu'à ses points de contact avec le fil du galvanomètre

troubler l'homogénéité d'un fil de platine *abc* (fig. 269), lit un nœud, ou, mieux encore, si on le tourne en spirale dans une partie de sa longueur, tout en n'établissant de discontinuité, et qu'on applique le foyer de chaleur à distance de cette spirale, on obtient un courant con- dirigé du côté du renflement à partir du point chauffé, ce ant probablement à ce que la petite masse se réchauffe aux s de la chaleur transmise par la portion *fi* du fil qui la sé- du foyer. Il est bien évident que si l'on prend une distance *ii'*, en *i* et *i'* le mouvement de la chaleur ne peut pas être e à cause de la masse *o*, et le courant doit provenir de la nce de ces deux mouvements. Le palladium se comporte le platine : un fil d'or ne produit aucun effet ; un fil nt n'en produit qu'un très-faible, ainsi qu'un fil de . On peut toutefois obtenir un courant continu en unis- s extrémités du galvanomètre avec un fil de cuivre qu'on en deux, et dont on réunit les deux bouts libres au de deux crochets passés l'un dans l'autre (fig. 270). On la lampe à alcool à droite uche du point de jonc- *o* par exemple, et on a rant qui suit la direction ce qui tient probablement que la propagation de la

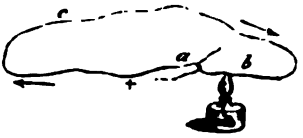


Fig. 270.

r se fait moins facilement dans ce sens que dans l'autre. explication paraît d'autant plus plausible que l'oxydation de cuivre au point de jonction des deux bouts, qui est nséquence de la chaleur qui y arrive, augmente l'inten- courant en diminuant la facilité de la propagation de la r dans cette partie du circuit.

duit par ces expériences, et d'autres du même genre,

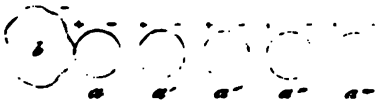


Fig. 271.

becquerel admet comme principe fondamental que la pro- tion de la chaleur dans un métal, dans un fil métallique

a a' a'' a''' (fig. 271) par exemple, est toujours accomp d'un dégagement d'électricité, dégagement qui consi ce que la première particule *a*, qui est en contact ave source de chaleur *b*, prend à cette source l'électricité po lui laissant la négative ; qu'à son tour, la seconde partic en s'échauffant, prend de même l'électricité positive à l mière, jusqu'à la dernière *a'''*, qui se trouve ainsi d d'électricité positive. Cette propagation se fait naturell au moyen de la polarisation électrique des particules sives, et par une suite de décompositions et de recompo des électricités contraires de ces particules consécutives ment qu'il n'y a d'électricité libre qu'aux deux extr aussi, si l'on touche le bout incandescent, c'est-à-dire la cule *a* avec un corps conducteur assez volumineux po ne s'échauffe pas sensiblement, on lui enlève son éle positive, la négative de *a* prend la positive de *a''*, et a suite jusqu'à la particule *a'''*, qui se trouve ne garder négative.

M. Becquerel a essayé de prouver directement ce p au moyen de l'expérience suivante. Il introduit un fil tine *a b* (fig. 272) dans un tube de verre fermé à la lam l'une de ses extrémités, et fait communiquer le bout li

Fig. 272.

fil avec le plateau d'un condensateur, puis il enroule aut bout fermé du tube un autre fil de platine *a' b'*, dont l' mité libre communique avec le sol ; il chauffe forten bout du tube, et alors le fil intérieur transmet au condens une charge très-sensible d'électricité positive.

Pour expliquer cette production d'électricité, M. Bec remarque que le tube de verre devenant conducteur à de sa température élevée, l'électricité positive du fil ext traverse le verre et est conduite au condensateur par le térieur ; celui-ci devrait, il est vrai, produire un effet in mais étant moins chauffé, l'effet du premier auquel la fi

a lampe est appliquée directement l'emporte sur celui du
d; si les deux fils étaient également chauffés, il n'y aurait
d'effet du tout. Remarquons que l'électricité négative du
térieur se porte à son extrémité froide, et de là dans le
vec lequel elle communique.
interprétation que nous venons de donner de l'expérience
Becquerel est sujette à bien des objections. M. Gaugain
voir que l'emploi de la lampe à alcool peut donner nais-
à des courants électro-chimiques; et, en supposant qu'on
se, comme l'a fait M. Leroux, à éviter la production de
urants, on ne peut pas se mettre à l'abri de l'électricité
nt provenir de l'action sur le platine du verre fondu ou
ins chauffé. Quoi qu'il en soit, partant du principe que
agation de la chaleur est accompagnée d'un dégage-
d'électricité dans chaque métal, M. Becquerel en conclut
rsqu'on chauffe, dans un point quelconque de sa lon-
r, un fil parfaitement homogène qui réunit les deux bouts
galvanomètre, il doit s'établir à partir du point chauffé
courants parfaitement égaux cheminant l'un à sa droite,
à sa gauche, et revenant à leur point de départ après
traversé le galvanomètre; ces deux courants égaux étant
en sens contraires, leur action doit être nulle, ainsi que
rience le démontre. Mais pour peu que l'homogénéité des
ils soit troublée d'un côté ou de l'autre, il en résulte que
s deux courants thermo-électriques devient plus fort ou
ible que l'autre, et leur différence est accusée par la
on du galvanomètre. Il suffit de bien peu de chose pour
r cette homogénéité; suivant M. Becquerel, une simple
tation de masse, même très-légère, est suffisante; une
ce dans l'état moléculaire, une faible altération dans la
chimique, suffit également. M. Becquerel attribue l'in-
de la non homogénéité à ce qu'elle détermine une dif-
dans la manière dont la chaleur se propage; différence
ivant lui, suffit pour en établir une entre les deux cou-
Nous verrons plus loin que c'est dans la non homogé-
lle-même, et non dans l'influence qu'elle exerce sur la
ation de la chaleur, qu'il faut chercher la cause qui fait

que l'un des courants est plus fort ou plus faible que l'autre.

Mais de toutes les manières, la plus efficace pour détruire l'homogénéité, c'est de substituer au fil unique qui réunit les deux bouts du galvanomètre un fil composé de deux bouts de fil de nature différente, unis ensemble métalliquement. En chauffant leur point de contact, on obtient au galvanomètre un courant qui est la différence des courants que chacun d'eux séparément produirait, chaque fil étant à la fois conducteur du courant dégagé par l'autre. En d'autres termes, l'intensité d'un courant thermo-électrique est égale à la différence des actions thermo-électriques produites dans chaque métal par la même température, de sorte que si on appelle P *fer* le pouvoir thermo-électrique du fer, et P *cuivre* celui du cuivre, l'intensité du courant, lorsqu'on élève la soudure fer-cuivre à une certaine température, devra être égale à P *fer* — P *cuivre* ou à P *cuivre* — P *fer*, suivant que ce sera le pouvoir thermo-électrique du fer ou celui du cuivre qui sera le plus considérable. C'est dans le cas que nous venons d'indiquer que rentre l'expérience primitive de Seebeck du couple thermo-électrique bismuth et cuivre. M. Becquerel, en formant des couples semblables avec divers métaux, et en élevant la température de leur point de contact, a obtenu au galvanomètre des courants qui l'ont conduit à ranger ces métaux dans l'ordre suivant, quant à leurs propriétés thermo-électriques : *Bismuth*, *platine*, *plomb*, *étain*, *cuivre*, *or*, *argent*, *zinc*, *fer* et *antimoine*. Dans ce tableau, chaque métal est positif par rapport à celui qui le précède, c'est-à-dire que le platine, par exemple, prend l'électricité positive au bismuth, ce qui fait que le courant va du platine au bismuth à travers le fil du galvanomètre, du bismuth au platine à travers le point chauffé. Mais il est préférable de représenter le phénomène comme nous l'avons fait plus haut, c'est-à-dire en partant du principe que chacun des deux métaux chauffés à leur point de contact, donne naissance à un courant indépendant qui va pour chacun du point chauffé à l'extrémité froide, à travers l'autre métal. D'après cela, l'ordre des métaux dans le tableau ci-dessus serait celui de leur pouvoir thermo-électrique, et l'effet observé serait dû à la diffé-

e d'intensité des pouvoirs thermo-électriques des deux
ux en contact.
l ordre diffère un peu, pour quelques-uns des métaux in-
édiaires, de celui qui avait été établi par M. Yelin, et plus
par M. Nobili ; mais il y a plus : ces deux physiciens ont re-
qué que dans quelques métaux, tels que l'antimoine en par-
ier, le pouvoir thermo-électrique est inverse de celui des
es ; en d'autres termes, dans ces métaux le courant, au
d'être dirigé, comme dans tous les autres, de l'extrémité
ffée à la froide, à travers le circuit entier, est dirigé de la
le à la chaude ; de sorte que, lorsque l'un d'eux forme un
ple avec un autre métal de la série, les deux courants qui
nent du réchauffement du point de contact, au lieu de par-
ir le fil du galvanomètre en sens contraires, le parcourent
le même sens, et par conséquent s'ajoutent, ce qui rend
ouples ainsi formés beaucoup plus puissants ; c'est ce qui
n en particulier avec le couple bismuth et antimoine.
e autre anomalie observée par M. Becquerel est le chan-
ent qu'éprouve le sens du courant dans quelques couples,
d on élève la température au delà d'une certaine limite.
i, dans un circuit fer et cuivre, le courant va du cuivre au
travers le point chauffé tant que la température n'excède
n certain degré, 300° environ ; sous l'action d'une tem-
ure plus élevée, le courant change de sens et va du fer
ivre. Le même changement a lieu, mais à une tempéra-
moins élevée, avec les couples zinc et argent et zinc et or ;
rant qui allait, pour des températures peu élevées, de
nt et de l'or au zinc, va, au delà de 100°, du zinc à l'ar-
nt à l'or.
ici maintenant comment M. Becquerel s'y prend pour dé-
iner le pouvoir thermo-électrique relatif de chaque métal.
endre la comparaison entre les métaux possible, il fallait
nairement les mettre dans les mêmes conditions, et par
quent non-seulement les réduire en fils de même dia-
re et de même longueur, mais aussi les placer tous dans le
me circuit, afin de se mettre ainsi à l'abri des différences de
ductibilité qui auraient influé sur l'intensité des courants.

indépendamment du pouvoir thermo-électrique. Dans ce
M. Becquerel a soudé avec soin bout à bout huit fils de m

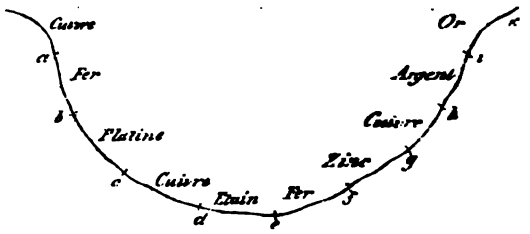


Fig. 273.

différents d'un demi-millimètre de diamètre et de deu
mètres de longueur, puis (fig. 273) il a mis cette ch
communication par ses extrémités avec les bouts du
nomètre. Toutes les soudures étaient maintenues à 0°,
celle sur laquelle se faisait l'expérience, qu'on chauff
duellement jusqu'à 20°; en opérant ainsi sur chacu
soudures successivement, on a obtenu les résultats sui

SOUDURES CHAUFFÉES.	DÉVIATIONS.	INTENSITÉ des COURANTS[1].
Fer — Étain.	36.50	31.24
Cuivre — Platine.	16.00	8.55
Fer — Cuivre.	34.50	27.96
Argent — Cuivre.	4.00	2
Fer — Argent.	33	16.20
Fer — Platine.	39	36.07
Cuivre — Étain.	7	3.30
Zinc — Cuivre.	2	1
Argent — Or.	1	0.30

[1] Ces intensités étaient conc'ues des déviations au moyen d'une ta dressée empiriquement, qui donnait les rapports entre les grandeurs des déviations et les intensités correspondantes des courants.

Pour interpréter les résultats renfermés dans ce tabl
faut se rappeler que, d'après ce que nous avons dit plus l
l'intensité du courant de chaque couple est la différence d

s des courants auxquels chacun des deux métaux
lonnerait naissance séparément, ou, ce qui revient
ue les intensités portées au tableau représentent les
des pouvoirs thermo-électriques des deux métaux
ent le couple dont le point de contact est chauffé.
portant a été établi directement par M. Becquerel,
le l'expérience suivante.
t pour cela du circuit de la fig. 273, dans lequel le
uivre sont d'abord en contact au point *a*, et séparés
eurs aux soudures *b* et *c*, *d* et *e*, *f* et *g* par des fils
d'or et d'étain. On commence par porter la sou-
°, tandis qu'on maintient à 0° toutes les autres; on
rs l'intensité du courant; puis après on porte suc-
t à 50° les soudures *b* et *c*, *d* et *e*, *f* et *g*, en mainte-
nent toutes les autres à 0°. Dans ces différentes cir-
les courants ont toujours la même intensité; de
e fer et le cuivre, quand ils sont en contact ou
d'autres métaux, donnent naissance à un courant
sité est la même; ce courant ne dépend, par consé-
de la température des deux points extrêmes.
au tableau ci-dessus, M. Becquerel en déduit le
rmo-électrique des métaux, en partant du principe
l qui prend l'électricité positive à l'autre, au point
est celui dont le pouvoir thermo-électrique est le
insi, dans le couple fer-cuivre, le courant va du fer
travers le circuit tout entier, et par conséquent du
er, à travers leur point de contact chauffé; c'est
qui prend l'électricité positive au cuivre, et il a
uivant M. Becquerel) un pouvoir thermo-électrique
r, suivant nous, ce devrait être l'inverse, car le
rmo-électrique du fer doit aller de son extrémité
on extrémité froide, à travers le circuit tout entier,
cuivre de même. Mais le courant définitif perçu par
netre cheminant dans le sens du courant du cuivre,
e que c'est ce dernier qui est le plus fort.
il en soit, en raisonnant comme M. Becquerel, on
p fer — p cuivre, et 36,07 = p fer — p platine.

Si on retranche la première expression de la secon
p cuivre — p platine = 8, 11 ; or, le tableau donne p
leur de cette expression, tirée directement de l'expérie
nombre bien peu différent. De même p fer — p étain
et p cuivre — p étain = 3,50 ; d'où p fer — p cuivr
au lieu de 27,96 que donne l'expérience. Si donc o
par x la puissance thermo-électrique du fer à 20°, o

p fer	$= x$
p argent	$= x - 26{,}20$
p or	$= x - 26{,}70$
p zinc	$= x - 26{,}96$
p cuivre	$= x - 27{,}96$
p étain	$= x - 34{,}24$
p platine	$= x - 36$

Le fer est positif par rapport à chacun des métaux d
c'est donc, suivant M. Becquerel, son courant qui d
sens du courant qui résulte du couple thermo-élect
forme avec chacun des métaux ; il en résulte dor
pouvoir thermo-électrique est supérieur à celui des
taux, et que par conséquent x est plus grand que 36.
valeur absolue de x, elle ne peut être déterminée qu
ment et par voie d'hypothèses. M. Becquerel rema
quand parmi les propriétés calorifiques on cherche
sont sensiblement les mêmes pour les différents m
que l'or, l'argent et le zinc, qui ont le même pouvo
électrique, on ne voit guère que leurs pouvoirs ra
en effet, ce n'est ni le pouvoir conducteur, ni la cha
fique. Si donc on suppose que les pouvoirs thermo-
soient proportionnels aux pouvoirs rayonnants, o
comparant sous ces deux rapports le fer et l'or, dor
voirs rayonnants sont comme 15 : 12, établir la
suivante :

$$x : x - 26{,}70 = 15 : 12$$

qui donne

$$x \text{ ou } p \text{ fer} = 133{,}50$$

On tire de là facilement les pouvoirs thermo-élect

tres métaux, et c'est ainsi qu'on a p argent = 107,30; [illegible] = 102,26, p platine = 97,50.

[illegible], indépendamment de l'incertitude qui règne sur l'exac-[illegible] de l'hypothèse qui nous a donné la valeur de x, les puis-[illegible] thermo-électriques, calculées comme nous venons de le [illegible], ne seraient vraies que dans les conditions de température [illegible] conductibilité de circuit qui nous ont servi à les établir. [illegible]ecquerel est parvenu à se débarrasser de ces deux éléments [illegible]marquant que les intensités trouvées directement par l'ex-[illegible]ence, et qui donnent la différence des pouvoirs thermo-[illegible]ctriques tels que p fer — p cuivre, sont proportionnelles au [illegible]voir conducteur du circuit et à la température, ce qu'il a [illegible]fié directement par l'expérience en formant des circuits [illegible]posés de deux métaux seulement, et en faisant varier la [illegible]pérature entre certaines limites, sans cependant dépas-[illegible]60°. Partant de ces points acquis, il a pu représenter les [illegible]voirs thermo-électriques des métaux par des nombres indé-[illegible]dants à la fois de la conductibilité du circuit dont ils font [illegible]tie, et de la quantité de chaleur qui s'y propage.

[illegible], comme nous le croyons, il faut renverser l'ordre des pou-[illegible] thermo-électriques, c'est-à-dire regarder comme ayant le [illegible]voir le plus fort celui des deux métaux soudés dans lequel [illegible]rant chemine de l'extrémité chauffée à l'extrémité froide à [illegible]ers le circuit tout entier, on a dans le tableau qui donne [illegible]aleurs de p fer, p argent, etc.

$$p \text{ argent} = 26{,}20 - x$$
$$p \text{ or} = 26{,}70 - x$$

[illegible]nsi de suite. Il faut alors admettre que les pouvoirs ther-[illegible]électriques ne sont plus directement mais inversément [illegible]portionnels aux pouvoirs rayonnants, et au lieu de la pro-[illegible]tion :

$$x : x - 26{,}70 = 15 : 12$$

On a :

$$x : 26{,}70 - x = 12 : 15$$

D'où l'on tire :

$$x \text{ ou } p \text{ fer} = 12$$

[illegible] par conséquent p argent = 14,20, p cuivre = 14,70, p étain = 22,24, [illegible]tine = 24.

Ainsi que nous venons de l'exposer, M. Becquerel, e
la production des courants thermo-électriques à la propa
de la chaleur, considère la thermo-électricité comme u
direct de la chaleur, modifié seulement par les conditio
ciales du corps qui transmet le flux calorifique. Le
riences, dans les limites où elles ont été faites, sembler
rables à cette opinion, et en tout cas elles démontrent, d
pour les métaux qui en ont été l'objet et pour les temp
auxquelles elles ont eu lieu, que le pouvoir thermo-éle

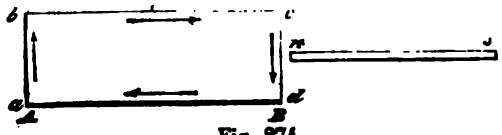


Fig. 274.

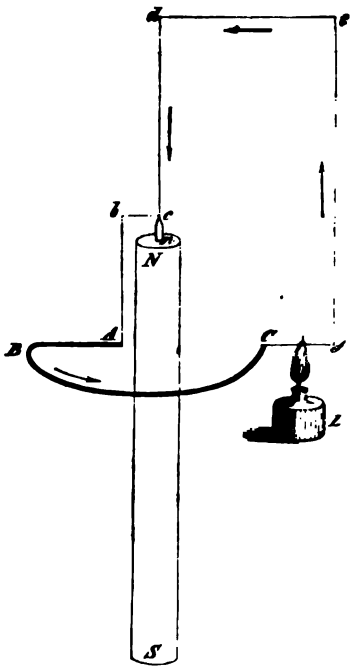


Fig. 275.

d'un couple est bien
rence des pouvoirs ther
triques des deux méta
il est formé ou leur so
ces pouvoirs thermo-éle
sont inverses l'un de
comme c'est le cas avec
ple bismuth et antimo
exemple. Cette loi, simpl
portante, n'est pas né
ment liée à l'hypothèse
tribue le développem
pouvoir thermo-électriq
propagation de la chale
peut subsister, quelle
la cause de ce dévelop
Cherchons donc, par
veaux faits, à nous fa
idée exacte de cette cau

Nous ne terminerons
pendant ce paragraphe
crire encore deux appareils élégants de M. Cumming,
sur le développement des courants thermo-électriques.

mier est un simple rectangle (fig. 274) dont les trois côtés, *ab*, *bc* et *cd*, sont formés de fils d'argent, et le quatrième, AB, d'un fil de platine. Ce rectangle est suspendu en *e*, de manière que le platine se trouve en bas. Si l'on chauffe l'un des points de jonction, tels que A, et qu'on présente à l'un des côtés, au côté *cd* par exemple, un aimant *ns*, on voit aussitôt le rectangle obéir à l'action attractive ou répulsive de l'aimant sur le courant qui circule en *cd*, de *c* en *d*. On peut suspendre le circuit métallique sur l'aimant lui-même (fig. 275), de manière à lui permettre, en contournant le fil de platine ABC, de tourner autour du pôle magnétique, ce qui a lieu en effet dès qu'on chauffe au moyen d'une lampe le point C, qui dans chaque révolution du circuit vient passer au-dessus de la flamme.

§ 3. Rapport entre la thermo-électricité et la structure moléculaire des corps.

L'influence qu'exerce la structure moléculaire des corps sur les phénomènes thermo-électriques, résulte déjà du fait que l'une des conditions nécessaires pour que la thermo-électricité se développe, c'est que le corps chauffé soit solide. Ainsi M. Matteucci est parvenu à démontrer que le contact du mercure chaud et du mercure froid ne produit point de courant thermo-électrique, que par conséquent, contrairement à l'opinion de plusieurs physiciens, le mercure ne peut devenir thermo-électrique. Il avait d'abord obtenu ce résultat négatif en ayant trois capsules consécutives pleines de mercure réunies par deux syphons remplis également de ce même liquide. On fait communiquer les deux extrêmes avec les bouts du fil du galvanomètre; puis, après avoir enlevé l'un des syphons, on chauffe seulement le mercure de la capsule intermédiaire; on remet aussitôt le syphon rempli de mercure, et on établit ainsi un contact entre une grosse masse de mercure chauffé et le mercure froid du syphon, sans que le galvanomètre accuse aucun courant, sauf quelques légers mouvements de l'aiguille très-irréguliers qui proviennent du réchauffement de l'un ou

l'autre des deux fils du galvanomètre, par l'effet du
qui a toujours plus ou moins lieu du mercure chaud
ou l'autre des deux capsules extrêmes.

Quelques objections contre ce procédé ayant été fa
M. Vorsselmann de Heer et par M. Peltier, M. Matteu
employé un autre qui l'a conduit au même résultat. Il
à prendre un creuset en terre au fond duquel sont m
deux tubes de verre recourbés; le creuset est séparé
compartiments par un diaphragme formé d'une lame
qui glisse dans une coulisse, et qui peut par conséqu
lever à volonté. On commence par remplir les deux
mercure et on y fait plonger les deux bouts du galvan
On verse ensuite dans l'un des compartiments du me
froidi à — 10°, et dans l'autre du mercure à + 180°.
enlève le diaphragme en le faisant glisser dans la cou
produit ainsi un contact immédiat entre le mercure ch
mercure froid, exactement comme Nobili et Becquerel
pour montrer la production des courants thermo-él
avec des fils métalliques; et cependant on n'obtient
déviation de l'aiguille, quoique le galvanomètre soit
de façon à être aussi sensible que possible pour les
thermo-électriques.

Ce qui fait que plusieurs physiciens ont cru que le
pouvait donner des courants thermo-électriques, c'est
très-difficile d'éviter le contact du mercure chaud ave
du galvanomètre. Or, il suffit, comme M. Matteucc
montré, de plonger deux fils métalliques homogènes a
qu'hétérogènes, dans deux masses de mercure qui co
quent entre elles au moyen d'un syphon rempli de me
dont l'une est chaude et l'autre froide, pour obtenir
rant thermo-électrique qui va du métal chaud au froid
fil du galvanomètre, chez la plupart des métaux, tels q
timoine, le platine, le cuivre, le zinc, le fer, et même
charbon : le bismuth seul fait exception. Si les sur
métal sont bien polies, on a un courant qui va du
froid au chaud, au lieu d'aller, comme pour les au
chaud au froid, quelle que soit la différence de la tem

deux masses de mercure. Le bismuth donne un courant qui contraire du métal chaud au froid si, au lieu d'établir le it à travers le mercure, on pose le métal chauffé à la e à alcool sur le métal resté froid ; l'antimoine et le pla- donnent de leur côté, dans ce cas, un courant qui va id au chaud, au lieu de cheminer du chaud au froid, lorsqu'ils étaient immergés dans le mercure. Le cuivre, e, le fer et le charbon ne changent pas, du moins quand éprouvent aucune altération par l'action de l'air, car si le e est oxydé, la direction du courant est renversée même on établit le circuit à travers le mercure. Le fer, quoi- xydé, ne varie pas dans la direction du courant qu'il it.

Gaugain, dans des expériences récentes, a confirmé en e, et modifié sur quelques points, les résultats obtenus par tteucci. Il opère tout simplement en mettant en rapport un galvanomètre les deux fils soumis à l'expérience ; il leurs extrémités libres en les posant l'une sur l'autre ; il chauffe tour à tour chacun des deux fils au moyen d'une e à alcool placée près du point de jonction, et il observe s de la déviation correspondante à chacune des deux po- s de la source de chaleur. Les fils avaient tous dans ses iences 1 millimètre de diamètre environ, et étaient re- . Avec des fils de cuivre et de fer, le courant marche du id au fil chaud, si les surfaces de contact sont bien métal- . Si ces surfaces sont oxydées ou carbonées, le courant e du fil chaud au fil froid. Avec des fils d'argent et de , les résultats sont inverses.

opérant sur des circuits formés de deux fils de nature ente, M. Gaugain a trouvé un bien plus grand nombre e d'irrégularités. Le sens du courant dépend non-seule- du fait que les deux fils aient entre eux un contact mé- e, ou qu'ils soient séparés par une couche d'oxyde ou de re, mais aussi de la température absolue à laquelle ils exposés. Ce courant varie même suivant que, dans le cas ntact métallique, les fils sont fortement pressés l'un contre re, ou ne font que se toucher légèrement ; il est clair que

le changement, lorsqu'il a lieu dans ce dernier cas, t
qu'il se forme par l'effet de la chaleur une légère couch
sur la surface de contact de l'un des métaux. Ainsi
phénomènes rentrent dans les deux catégories, ou co
tallique immédiat, ou couche soit d'oxyde, soit de car
terposée entre les deux métaux. Alors, au lieu d'un se
on en a deux formés, le premier de l'un des métau
couche d'oxyde, le second de la même couche d'ox
l'autre métal, et l'effet observé n'est que la différence
dus à chaque couple séparément. A l'appui de cette ex
M. Gaugain cite le fait d'une lame mince de platine q
posée entre deux fils d'argent, change le sens du co
quel marche du froid au chaud au lieu de marcher du
froid, comme cela avait lieu quand les deux fils d'arge
en contact immédiat.

Les expériences de M. Gaugain, comme celles de
teucci, nous montrent que les phénomènes thermo-él
sont moins simples que ne l'avaient cru MM. Bec
Nobili. Déjà les recherches de Yelin et de Sturgeo
prouvé l'influence considérable qu'exerce sur le r
structure moléculaire du corps où se propage la chale
Sturgeon avait trouvé, en faisant des cadres ou des
de bismuth ou d'antimoine, qu'il y a dans ces cadres d
qui, lorsqu'on les chauffe, produisent des courants e
qui n'en développent point; il avait nommé ceux-
neutres; ces points ont ceci de caractéristique que, si o
le métal à leur droite, on a un courant d'un sens oppo
qu'on obtient quand on chauffe à leur gauche. M.
s'est assuré que le point neutre se trouve aussi bien p
timoine que pour le bismuth dans la portion de l'un
du cadre qui correspond au point par lequel on a coul
dans le moule qui lui a donné sa forme, ce qui sem
quer que la tranche correspondante est comme la s
contact des deux portions du cadre qu'elle sépare.
sens absolu du courant, il va dans le bismuth de la pa
à la partie chaude à travers la tranche de contact, et il
direction inverse dans l'antimoine. Quand on laisse

ıns le moule le cadre de bismuth ou d'antimoine,
s points neutres partout où s'est fait un champi-
à-dire partout où la matière liquide inférieure a
oûte. M. Matteucci, qui a fait un grand nombre
s sur ce sujet, ajoute la remarque importante que
résente dans tous les points neutres une cristalli-
nte de celle du reste du métal.
ıous arrêtons pas aux expériences de M. Vorssel-
r qui, en opérant avec le bismuth et l'antimoine,
ant aller dans le même métal, tantôt du métal
oid, tantôt du froid au chaud, variations qu'il
oir attribuer à la différence de température plus
rande entre les deux barreaux mis en contact.
rrégularités tiennent à l'état cristallin des sub-
i que l'ont démontré successivement M. Svanberg,
M. Matteucci lui-même.
rg, à la suite des recherches de M. Faraday sur le
néto-cristallin du bismuth et de l'antimoine, et
ion de ce savant sur l'existence dans ces cristaux
clivage doué d'un plus grand éclat que les autres,
des barres de bismuth et d'antimoine dont les
leur longueur perpendiculaire à ce plan de clivage
magne-cristallique de Faraday [1], tandis que la
s autres coïncidait avec l'intersection de ce plan de
é du plus grand éclat, et d'un autre dont l'éclat ne
eaucoup à celui du premier. Les premières barres
gatives, et les secondes plus positives dans la série
rique, que toute autre barre qu'on formerait du
. M. Svanberg a fait la remarque importante que,
oine aussi bien que pour le bismuth, si les deux
en contact sont celles dont la longueur est per-
au plan de clivage principal, le courant va du
l au froid, tandis que si ce sont celles dont la lon-
rallèle à l'intersection des deux plans de clivage,
a du métal froid au chaud. On n'obtient aucun

ge 507.

renversement du courant en faisant porter la différence de température entre les deux extrémités mises en contact. Il résulte donc de là que les différences observées quant au sens du courant, et les changements que ce sens éprouve souvent, tiennent dans le bismuth et l'antimoine à leur état cristallin et à la position des plans de clivage de l'échantillon soumis à l'expérience par rapport au point de contact du métal chaud et du métal froid.

M. Frantz a étudié l'influence de la position du plan de clivage principal sur le pouvoir thermo-électrique, d'échantillons cubiques de bismuth et d'antimoine. Ces échantillons, du volume d'un centimètre cube environ, ont été taillés de façon que, dans chacun, la direction du plan principal de clivage, ou fût parallèle à deux des faces, ou formât un angle de 30° avec l'une des faces, et par conséquent de 60° avec l'autre. Par ce moyen, on peut placer deux cubes l'un contre l'autre, de manière que leurs plans de clivage soient parallèles, ou inclinés l'un à l'égard de l'autre, de 30° ou de 60°. Pour opérer, M. Frantz place les cubes entre des lames de verre poli fixées solidement, et il les fait communiquer avec les fils du multiplicateur au moyen de petites colonnes en cuivre en forme de prisme carré. Un cylindre de verre qu'on a chauffé dans un bain de sable est placé exactement sur la ligne de contact des cubes soumis à l'expérience, ce qui permet de chauffer cette ligne d'une température constante et facile à mesurer. Au moyen d'un levier disposé convenablement, qu'on charge de poids plus ou moins considérables, on presse les cubes l'un contre l'autre pour rendre leur contact plus intime; la pression était en général dans les expériences de M. Frantz de 7 ½ kilogrammes.

Les deux cubes placés entre les colonnes de cuivre furent d'abord deux cubes de bismuth; on les disposa de façon que leurs plans de clivage eussent une direction uniforme et verticale, perpendiculaire à la ligne qui joignait les deux colonnes de cuivre entre lesquelles ils étaient placés; en chauffant leur ligne de contact, on ne développe aucun courant, sauf quelques légers courants irréguliers tenant à la non homogénéité

[illegible]ite de la structure intérieure du métal. Si l'on place des [illegible]s taillés de façon que le plan de clivage soit incliné de [illegible] à l'horizon, on a un courant de 34°,5′ en chauffant leur [illegible] de contact; si le plan de clivage est incliné de 60°, la dé[illegible]n n'est plus que de 19°,7′; les déviations sont exactement [illegible]me valeur, mais en sens contraire, quand le plan de cli[illegible] est abaissé de la même manière vers la seconde colonne de [illegible]e au lieu de l'être vers la première. Enfin si les cubes sont [illegible]s de manière que dans tous les deux le plan principal de [illegible]e forme le même angle avec le plan vertical, il n'y a [illegible] courant. Il n'y en a point non plus quand les plans [illegible]ipaux de clivage placés dans une direction axiale forment [illegible] eux un angle de 90°; mais on obtient une déviation [illegible]me de 45° quand les cubes sont placés l'un contre l'autre [illegible]on que le plan principal de clivage de l'un soit dans une [illegible]ion axiale, et celui de l'autre dans une position équatoriale. [illegible]résulte des expériences de M. Frantz que dans tout mor[illegible] de bismuth taillé de la même manière, l'inclinaison du [illegible] de clivage indique la direction du courant positif déve[illegible] par l'échauffement du métal, et que lorsqu'on chauffe la [illegible] de contact de deux morceaux différents dont les plans [illegible]ipaux de clivage sont inclinés l'un à l'égard de l'autre, il [illegible]veloppe un courant qui part toujours de la direction qui [illegible]quatoriale pour ce courant, et avec d'autant plus de faci[illegible]que l'angle formé par les plans principaux de clivage est [illegible] grand.

[illegible]'antimoine, qui possède aussi un plan principal de clivage [illegible] à fait prédominant, présente les mêmes phénomènes que [illegible]muth. En pressant l'un contre l'autre deux cubes d'anti[illegible]ne de manière que leurs plans principaux de clivage soient [illegible] la même position, on n'obtient point de courant lorsqu'on [illegible]e leur surface de contact jusqu'à 100°; mais on déter[illegible] une déviation de 12°,4 en disposant les cubes de façon [illegible] le plan de clivage de l'un soit dans une position axiale, et [illegible] de l'autre dans une position équatoriale. Le courant [illegible]che aussi, dans ce cas, du cube dont le plan de clivage [illegible]e la positio équatoriale par rapport à la surface de con-

tact, à celui dont le plan de clivage occupe la position axiale.

Si l'on met successivement en contact, soit avec le cube de bismuth, soit avec celui d'antimoine, des cubes faits de divers autres métaux, on obtient des courants thermo-électriques dont l'intensité présente des différences considérables, suivant que le plan de clivage du bismuth et de l'antimoine est placé axialement ou équatorialement par rapport à la surface de contact qui est toujours la partie chauffée. Le courant est deux fois plus fort avec le bismuth équatorial qu'avec le bismuth axial quand on le combine avec le fer, le plomb, le zinc, l'argentane, le laiton, l'argent, le cuivre et l'étain ; c'est l'inverse quand on substitue l'antimoine au bismuth. La seule exception est celle que présente l'acier ; avec ce métal le courant est plus fort quand le bismuth est axial que lorsqu'il est équatorial ; avec l'antimoine l'acier se conduit comme les autres métaux. Il ne faut pas oublier que le courant va, dans les combinaisons du bismuth avec les autres métaux, du bismuth au métal à travers la surface de contact chauffée, tandis qu'il va du métal à l'antimoine quand on substitue ce dernier au bismuth.

Voici du reste l'ordre dans lequel on peut ranger les cubes métalliques soumis à l'expérience, en les disposant de manière que chacun donne, pour une température de 100°, un courant positif avec le suivant : *bismuth* (plan de clivage équatorial), *argentane*, *laiton*, *étain*, *cuivre*, *argent*, *zinc*, *plomb*, *acier*, *fer*, *antimoine* (plan de clivage équatorial), *antimoine* (plan de clivage axial).

M. Matteucci a dernièrement vérifié les expériences de MM. Svanberg et Frantz d'une manière complète. Il s'est procuré des tiges passablement longues de bismuth, ayant dans toute leur longueur le clivage parallèle ou perpendiculaire à la longueur, en faisant refroidir très-lentement une couche de bismuth pur, haute de 20 à 25 millimètres, dans une large assiette de terre ; il nomme *équatoriales* les premières et *axiales* les secondes, en se fondant sur la position d'équilibre que ces tiges prennent entre les pôles d'un électro-aimant, et qui manifeste très-bien leur structure uniforme. Il a trouvé qu'avec deux tiges axiales le courant thermo-électrique est dirigé de la tige chauffée à l'autre dans la face de contact, et qu'avec les

équatoriales le courant a une direction opposée. En
ant la ligne de contact d'une tige axiale et d'une tige
riale, on a un courant thermo-électrique qui va de la
ère à la seconde à la face de contact. Pour faciliter les
iences, il faut prendre deux cubes de bismuth cristallisé
eux faces sont parallèles au plan principal de clivage.
eux cubes sont tenus en contact en étant serrés entre deux
de cuivre qui marchent horizontalement à vis et com-
ent au galvanomètre; il faut avoir soin de maintenir
tacts entre les tiges et les cubes à une température con-
, et d'élever la température de la ligne de contact des
cubes en la touchant avec une tige de verre chauffée. On
s qu'à faire faire à chaque cube des quarts de révolution
obtenir les résultats décrits.
t évident que l'influence des plans de clivage tient dans
hénomènes, comme dans ceux du diamagnétisme et dans
d'autres, à ce que les molécules sont plus rapprochées
la direction de ces plans que dans une direction perpen-
laire; et la preuve, c'est que M. Matteucci a réussi à dé-
per par la compression dans le bismuth des propriétés
mo-électriques semblables à celles que la cristallisation
ne à ce métal. Le même physicien a observé que la com-
ion peut également déterminer dans le bismuth des diffé-
s de conductibilité, soit pour l'électricité, soit pour la
ur, analogues à celles qui résultent de la disposition na-
le des plans de clivage. Ainsi les tiges de bismuth équa-
les conduisent mieux l'électricité et la chaleur que les
axiales; de même la conductibilité pour l'électricité et
la chaleur est plus grande parallèlement à la direction
t laquelle le bismuth a été comprimé, que perpendicu-
ment à cette direction.
Matteucci, pour démontrer l'influence de la structure
laire sur les phénomènes thermo-électriques, s'est as-
comme il l'avait fait pour le mercure, qu'il n'y a pas de
t thermo-électrique développé dans le contact du bis-
fondu avec une couche de bismuth également fondu,
plus chauffé que le emier. Cependant, de deux colonnes

de même longueur et de même diamètre, l'une de bismuth fondu et l'autre de bismuth solide, la première conduit mieux l'électricité que la seconde; ce n'est donc pas aux différences de conductibilité électrique qu'est due la production de la thermo-électricité.

Il résulte donc de tous les faits que nous venons d'énumérer, la démonstration de l'influence considérable qu'exerce sur les phénomènes thermo-électriques la constitution moléculaire des corps. Cette influence avait été déjà constatée en 1844 par M. Mousson, dans une série d'expériences par lesquelles il avait démontré qu'il suffit, dans un fil homogène, de la plus légère différence dans l'état d'équilibre moléculaire de ses différentes parties, pour déterminer un courant par l'application de la chaleur à l'un de ses points, tandis que lorsque le fil est dans un état parfait d'homogénéité moléculaire, il ne se développe pas de courant par l'échauffement d'un point unique quelconque, à moins que cet état d'homogénéité ne soit détruit par l'application même de la chaleur, comme cela a lieu avec un fil écroui et non avec un fil déjà recuit. Le courant qui résulte des différences dans l'état moléculaire varie en direction et en intensité avec les différents métaux. Dans le cuivre et le fer, il va des parties qui sont les plus élastiques à celles qui sont les plus ductiles; dans le laiton, c'est le contraire. M. Mousson avait, indépendamment de ces résultats généraux, reconnu que d'autres circonstances, difficiles à déterminer, influent sur le sens et la force du courant.

M. Magnus a repris dernièrement cette même question, et il est parvenu à des résultats qui nous paraissent déterminer d'une manière très-précise la nature des phénomènes thermo-électriques, et leur liaison intime avec les changements moléculaires. Seulement, pour ne pas altérer l'état moléculaire du fil, il ne faut se servir que de la température de 100° pour le chauffer, et avoir soin que les deux portions où il est en communication avec le galvanomètre aient exactement la même température.

Le premier point à établir, c'est de savoir si le développement du courant qui résulte, dans un fil homogène, d'un accroissement de volume provenant d'un nœud, comme M. Becquerel l'a

u le premier, ou d'une augmentation de diamètre dans ortion de la longueur du fil, est dû à la différence de proion de la chaleur qui a lieu quand on chauffe le fil près du soit au point même où son volume change, ou à une altérans son état moléculaire, produite par le fait qui a opéré ce ement de volume. Plusieurs expériences ont démontré que à cette dernière cause, et non à la première, que la pro- n du courant devait être attribuée; nous citerons la sui- qui nous paraît la plus directe et la plus démonstrative. s fil de laiton de 1 mètre de longueur et de près de 7 mil- es de diamètre (fig. 276) fut aminci vers son milieu, de re à ne conserver, sur une longueur de 16 centimètres, diamètre de 1 millimètre. En chauffant l'un des points

Fig. 276.

diamètre variait brusquement, il n'y eut pas de courant; expérience importante, variée de plusieurs manières, toujours le même résultat négatif. D'un autre côté, si ait déposer par voie voltaïque une couche très-mince de sur un fil d'argentane, ce fil, chauffé au point où se ne la couche de cuivre, développe un courant assez fort. un effet analogue que produit une couche mince d'oxyde, l elle recouvre la surface d'un métal. Ce n'est point à une ication dans le pouvoir rayonnant du métal qu'on peut uer l'effet de ces couches, car en modifiant ce pouvoir lement par la superposition de couches non conductrices, obtient point le même résultat.

nsi, il paraît bien prouvé que, dans un métal homogène, est pas d'une inégalité des quantités de chaleur propagées les deux directions contraires à partir de la partie chauf- que dépend la production des courants thermo-électriques, que la différence des volumes ne suffit pas à elle seule pour nérer ces courants, mais qu'il faut nécessairement, aussi quand les volumes sont différents que lorsqu'ils sont s, une différence dans l'état moléculaire. M. Magnus s'est

de plus assuré que l'écrouissement ou le recuit ne modi pas sensiblement la conductibilité intérieure d'un gros laiton ou d'argentane, et que, par conséquent, on ne peu non plus attribuer les courants thermo-électriques qui se loppent dans un fil dont une partie est écrouie et l'aut cuite, à une inégalité dans la quantité de chaleur pr dans l'une de ces parties et dans l'autre.

Maintenant voici les résultats obtenus par M. Magn des fils amenés à 1 millimètre de diamètre et de 2 mè longueur, et recuits seulement sur une longueur de 6 mètres, en portant chacun d'eux à la température de 1 point de séparation de la portion recuite et de la p écrouie. Dans le tableau suivant, la direction du cour indiquée comme allant d'une partie du fil à l'autre, à tra point chauffé.

METAL.	DIRECTION du COURANT.	DÉVIATION.
Laiton.	De la partie recuite à la partie écrouie.	55°
Argent [1].	Id.	46
Acier.	Id.	45
Argent à 750 de fin.	Id.	40
Cadmium.	Id.	25
Cuivre.	Id.	18
Or n° 1 [2].	Id.	10
Platine.	Id.	5
Or n° 2 [3].	Id.	2
Argentane.	De la partie écrouie à la partie recuite.	34
Zinc.	Id.	32
Étain.	Id.	30
Fer.	Id.	4
Plomb.	Douteuse.	0

[1] Contenant 0,0067 de cuivre.
[2] Contenant 0,0097 de cuivre, et préparé avec des frédérics d'or prussi
[3] Contenant 0,0011 d'argent, et préparé avec des ducats hollandais.

On peut accroître les effets de la manière suivante : on p un fil écroui et l'on en fait recuire diverses portions

elles, séparées par des intervalles égaux; on l'enroule sur
châssis dont la circonférence
gale au double de la lon-
r d'une partie recuite, de
sorte que les points de sé-
ion des parties recuites et
parties écrouies se trouvent
ativement des deux côtés

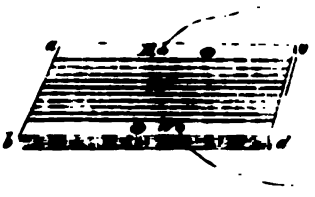


Fig. 277.

és du châssis. En chauffant tous les points situés d'un
côté, on détermine des courants de même sens, qui s'a-
tous entre eux. L'expérience peut être disposée, par
ple, comme dans la figure 277.

M. Magnus a encore cherché à déterminer le sens et
nité du courant produit par le contact de deux fils de
nature, parfaitement homogènes, mais portés à des
ratures inégales, 8° et 100°, puis 8° et 250°, pour quel-
fils seulement. Dans les expériences, les fils étaient ou tous
écrouis, ou tous deux recuits, ou l'un recuit et l'autre
. Avec des fils d'argentane, d'argent fin, de cuivre et
, le courant va du métal froid au métal chaud par la
de contact, qu'ils soient tous les deux écrouis ou
; il va du chaud au froid avec des fils de zinc, de pla-
d'or, de cadmium, de laiton et d'argent au titre de 0,750.
l'un des fils est écroui et l'autre recuit, le sens du cou-
est très-variable avec la nature des métaux. Le fer et
ne donnent pas des résultats constants dans ce mode
périmentation.

appareil au moyen duquel on l'opère est un vase cylin-
en fer-blanc de 10 centimètres de hauteur sur 6 de dia-
(fig. 278). A 2 centimètres et demi au-dessus du fond, se
quatre ouvertures *a*, *b*, *c* et *d*, par où passent quatre
horizontaux pénétrant dans l'intérieur jusqu'à un tube
g. L'un des fils soumis à l'expérience est tendu suivant
tubes *a* et *b*; dès que ce fil est réchauffé à 100° au
d'une lampe qui amène à cette température l'eau dont
est rempli, tend le deuxième fil dans l'axe des tubes
puis, à l' d'un cylindre de bois mobile à frotte-

ment doux dans le tube vertical g, on presse les deux fils contre une pièce de bois f fixée au-dessous de leur point de croisement dans le tube g. Afin que la pression soit la même dans toutes les expériences, on la produit à l'aide d'un poids en plomb p, placé au-dessus du cylindre de bois.

Fig. 278.

Pour opérer à la température de 250° on se servait d'un appareil un peu différent. Ajoutons encore que M. Magnus a confirmé complétement le résultat déjà obtenu par M. Matteucci, savoir qu'il ne se développe pas de courant au contact du mercure chaud et du mercure froid. Voici comme il a opéré : Deux tubes de verre, AC et BD, de la forme représentée figure 279, étaient remplis de mercure; les extrémités A et B des deux masses de mercure étaient mises en communication avec le galvanomètre par des fils de platine qui traversaient des bouchons de liége enfoncés jusqu'à la surface du mercure.

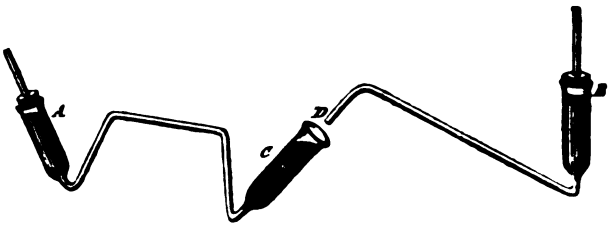


Fig. 279.

Le mercure du renflement C étant chauffé, on y plongea l'extrémité effilée D du tube BD, maintenue à la température ordinaire; dans une autre expérience, on chauffa l'extrémité D, et on la plongea dans la masse C, restée froide; il n'y eut aucune trace de courant. Les colonnes de mercure étaient d'ailleurs restées parfaitement continues, puisqu'elles laissaient

circuler les courants thermo-électriques développés dans d'autres parties du circuit.

En résumé, il nous paraît maintenant bien établi que, dans les phénomènes thermo-électriques, la cause des courants n'existe pas dans le fait même de la propagation de la chaleur, mais dans les effets moléculaires qui accompagnent cette propagation. Aussi, lorsque les deux portions d'un corps sont parfaitement homogènes à gauche et à droite du point chauffé, les effets moléculaires produits par cette chaleur étant identiques, il en résulte deux courants qui, étant appelés à parcourir le même circuit, doivent être égaux en même temps qu'ils sont contraires ; mais la moindre différence dans la nature chimique ou dans la constitution moléculaire de ces deux portions détermine une intensité plus grande dans l'un des courants que dans l'autre, et par conséquent produit un effet qui est accusé par le galvanomètre. Quant au rapport que M. Becquerel croit avoir trouvé entre le pouvoir thermo-électrique des métaux et leur pouvoir rayonnant pour la chaleur, il peut s'appliquer jusqu'à un certain point, en considérant que ces deux pouvoirs sont également liés avec l'état moléculaire des corps, ainsi que nous venons de le prouver pour le premier, et que M. Melloni l'a démontré pour le second.

Nous chercherons plus tard, et quand nous serons plus avancés dans l'étude des sources de l'électricité, à voir comment on peut se rendre compte de la liaison qui existe entre la production de l'électricité et les effets moléculaires qui accompagnent la propagation de la chaleur.

§ 4. Piles thermo-électriques, et application de la thermo-électricité à la mesure des températures.

Peu de temps après la découverte de Seebeck, Fourrier et Oersted eurent l'idée de réunir plusieurs couples thermo-électriques en soudant alternativement ensemble une série de barreaux de bismuth et d'antimoine, et en chauffant les soudures alternatives de manière à en laisser toujours une froide entre

deux chaudes. Une aiguille aimantée, placée simp
sur un des barreaux de ce circuit auquel on avait do
forme polygonale, éprouvait une déviation prononcée.
tient le même résultat en maintenant à 0°, au moye
glace fondante, les soudures alternatives, celles qui
pas refroidies pouvant être considérées comme chauf
rapport aux autres. L'effet sur l'aiguille est très-cons
quand on combine le refroidissement et le réchauffeme
à-dire qu'on entoure de glace fondante toute les s
paires, par exemple, et qu'on réchauffe avec une lampe
toutes les soudures impaires. Les deux savants physici
mentèrent le nombre de leurs barreaux alternatifs de
et d'antimoine jusqu'à en mettre 22 de chaque espèce
marquèrent que l'effet total exercé sur l'aiguille par c
composé est bien inférieur à la somme des effets isolés q
chacun des circuits simples dont il est formé; mais
changer la longueur du circuit composé, on ne met en
qu'une portion des couples en ne chauffant ou ne refr
pas toutes les soudures alternatives, alors on obtient
moindre, et on arrive à reconnaître que l'intensité du
est proportionnelle au nombre des éléments qui sont
vité. D'un autre côté, avec des couples parfaitement se
placés dans les mêmes conditions de température, et
de manière à former des piles de 8, de 16 et de 32 élém
obtient des courants de même intensité, quel que soit l
des couples de la pile. Un seul couple produit égal
courant de même intensité. Il en résulte que dans un
16 couples le courant de chaque couple n'est que la
partie de celui que produirait chacun des couples pri
ment, et que si on ne met en activité dans cette pile q
couple, le courant de la pile n'est que le seizième de
développerait ce couple isolé quand il formerait un
lui tout seul.

Ces résultats, déjà signalés par Fourrier et Oersted
confirmés et parfaitement bien expliqués par M. Pou
suite de recherches aussi précises que détaillées. Ils vi
l'appui des lois que nous avons établies dans le chap

· de la quatrième partie [1] sur l'intensité des courants dans ircuits fermés, et en particulier de cette loi fondamentale l'*intensité d'un courant est en raison inverse de la longueur ircuit qu'il parcourt*. Et en effet si d'une part, dans une pile mo-électrique l'intensité du courant est proportionnelle au bre des couples mis en activité, et que d'autre part cette e intensité soit inverse de la longueur du circuit, et par équent de ce même nombre de couples, il doit en résulter quel que soit ce nombre, pourvu que les couples soient itement identiques et forment un circuit complétement é sans intervention d'aucun autre conducteur, la force du ant sera indépendante du nombre des couples.

est essentiellement en faisant usage des courants thermo-riques que M. Pouillet était arrivé à établir les lois géné-qui régissent la propagation des courants électriques dans bons conducteurs, lois qu'Ohm et Fechner, de leur côté, ent découvertes en faisant usage des courants voltaïques paires, soit hydro-électriques. Les courants thermo-élec-ques ont l'avantage, pour ce genre de recherches, d'être plus liers et plus constants, et de n'exiger pour leur dévelop-ent qu'un circuit tout métallique et à l'abri, par consé-nt, des perturbations qu'entraîne l'alternative de conduc-s solides et liquides, mais ils présentent l'inconvénient ir une intensité très-limitée.

ur reconnaître les lois relatives à l'influence qu'exerce

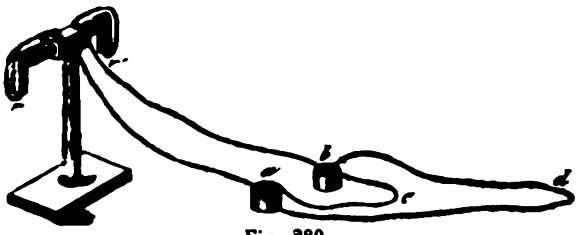


Fig. 280.

l'intensité du courant la longueur et la section du cir-, M. Pouillet se servait de deux couples parfaitement

[1] Tome II, page 25.

semblables, formés chacun par un cylindre de bismu 280 et 281) aux deux extrémités duquel est soudé u cuivre d'un mètre de longueur; l'une des soudures de couple était maintenue à 0°, et l'autre à 100°, puis leu était fermé par des fils quelconq peut s'assurer ainsi, au moyen d' vanomètre différentiel dont les d sont traversés en sens contraires courants de ces deux couples, courants sont parfaitement égau pour démontrer que leur intensi raison inverse de la longueur du

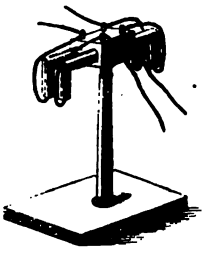


Fig. 281.

on prend deux fils semblables pou les circuits des deux couples; mais pour l'un des cou n'a que 8 mètres de longueur, tandis que pour l'au a 98, ce qui fait pour le premier une longueur totale d tres, et une de 100 mètres pour le second. Avec le c 10 mètres, on fait deux tours sur un cadre de multip et 20 avec celui de 100 mètres; alors, en faisant passe rants en sens inverse, l'aiguille reste immobile. Don rant du circuit dix fois plus long est dix fois plus faib qu'il faut qu'il agisse par un nombre de tours dix grand pour compenser l'effet du courant du circuit plus court. C'est par un procédé semblable que P constaté que l'intensité est proportionnelle à la section fermant l'un des circuits avec trois ou quatre fils par en prenant un fil plus gros dont une portion a été ti fin afin d'être bien sûr de l'homogénéité du métal, soit nant un fil pour montrer que l'étendue de la surface n' influence pourvu que le volume reste le même. Dans riences, la résistance du barreau de bismuth peut êt gée, vu le grand diamètre et la très-petite longueur d reau, comparés au diamètre et à la longueur du fil d

Les lois que nous venons de rappeler, jointes aux au nous avons établies dans le premier chapitre de la q partie, permettent de déterminer la disposition qu'il le mieux de donner au multiplicateur pour qu'il ait

de sensibilité dans la mesure des courants thermo-élec-
ques. Tout dépend de la longueur, et par conséquent de la
stance que possède le circuit thermo-électrique. Supposons
lle soit par exemple égale à celle d'un fil de cuivre de
mètres de longueur et de $\frac{1}{10}$ de millimètre de diamètre ; si
met dans le circuit un multiplicateur dont le fil ait cette
gueur et ce diamètre, on réduit de moitié l'intensité du cou-
, mais on a autour du cadre du multiplicateur un très-
nd nombre de tours qui seront très-rapprochés et agiront
ment sur les aiguilles. Si on ne donne que 10 mètres de
gueur au fil, l'intensité du courant ne sera réduite qu'au $\frac{10}{11}$
on intensité primitive, au lieu de l'être à la moitié, mais
si on fera avec les 10 mètres dix fois moins de tours
vec 10 ; et il est évident que cent tours, dont chacun agit
s une intensité $\frac{1}{2}$, produisent sur les aiguilles beaucoup
s d'effet que dix, dont chacun agit avec une intensité $\frac{10}{11}$;
s le premier cas, l'intensité est 50, dans le second $\frac{100}{11}$, soit
ou près 9. Si le fil du galvanomètre multiplicateur était
s gros, tout en restant de la même longueur, si par exem-
il avait un millimètre de diamètre, son interposition dans
ircuit ne changerait presque rien à l'intensité du courant,
si qu'il est facile de le voir ; aussi en résulterait-il un effet
plus considérable sur les aiguilles ; mais cependant il faut
rver que, quoique le nombre des tours reste le même, la
grande épaisseur du fil fait qu'ils sont plus distants des
illes et agissent par conséquent moins fortement sur elles.
porte donc dans la construction du galvanomètre multi-
teur destiné à la mesure des courants thermo-électriques,
précier avec soin ces divers éléments et de savoir en tenir
pte. En général, les fils de ces galvanomètres doivent être
et courts, surtout quand le circuit n'a lui-même que
peu de longueur, et offre par conséquent très-peu de ré-
nce au courant. Ajoutons que si l'on est maître de réduire
ngueur du circuit comme l'on veut, le multiplicateur ne
tiplie plus, car en supposant que la résistance d'un couple
mo-électrique puisse être négligée, il est évident qu'avec
fil d'une nature et d'un diamètre déterminés pour avoir

dix tours au multiplicateur, il faut donner au fil une longueur décuple qui réduit l'intensité à sa dixième partie, de sorte qu'on perd autant qu'on gagne, puisqu'un seul tour aurait dix fois plus de puissance que chacun des dix. Aussi obtient-on plus d'effet avec le couple antimoine et bismuth de la fig. 268, en le faisant agir directement sur une aiguille aimantée qu'en interposant dans son circuit un galvanomètre multiplicateur.

On conçoit facilement, d'après ce qui précède, que l'interposition dans le circuit thermo-électrique de conducteurs qui présentent une assez grande résistance au courant, tels que des fils très-fins de métal, des liquides ou le corps humain, doivent singulièrement affaiblir ce courant. Aussi pour produire avec une pile quelques-uns des effets qui exigent une assez grande tension électrique, tels que les effets chimiques par exemple, on est obligé d'augmenter la résistance de la pile elle-même en la composant d'un très-grand nombre de couples, et en employant pour former ces couples des métaux aussi peu conducteurs que possible. En augmentant le nombre des couples, on n'augmente pas la force du courant, ainsi que nous l'avons vu, mais on diminue beaucoup l'affaiblissement que ce courant éprouvera par l'interposition dans le circuit d'un conducteur imparfait. C'est ainsi que Botto a réussi à décomposer l'eau légèrement acidulée par le courant d'une pile thermo-électrique formée de cent vingt bouts de fil de platine, chacun de 2 centimètres et demi de longueur et de $\frac{1}{4}$ de millimètre de diamètre, alternant avec autant de bouts de fils de fer doux de même dimension. La chaîne formée par cette succession de ces deux cent quarante bouts de fils était enroulée autour d'une règle de bois de 50 centimètres de longueur, de manière que les points de contact impairs fussent d'un côté de la règle, et les pairs de l'autre côté à 1 centimètre environ de distance des premiers qu'on chauffait avec une lampe à alcool aussi longue que la règle.

M. Poggendorff a aussi imaginé une combinaison thermo-électrique qui ne peut pas, il est vrai, être soumise à une température aussi élevée que celle du fer et du platine, mais qui est néanmoins presque aussi efficace, tout en étant bien plus

ie; il l'obtient en remplaçant le platine par l'argen-
st un métal éminemment positif dans la série thermo-
, car il suit immédiatement le bismuth et précède le
. température égale, et pour un même nombre de
a pile argentane et fer a une force électro-motrice
de que la pile platine et fer, ainsi que Poggendorff
é par une comparaison directe faite au moyen d'un
ètre différentiel. Dans cette pile, les fils peuvent être

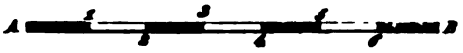


Fig. 282.

ı la suite les uns des autres le long d'une ligne droite
ou disposés en zigzag (fig. 283), ou même en fais-
ı, afin qu'il soit plus facile d'opérer un changement
ature entre les points de contact pairs et les impairs.

Fig. 283.

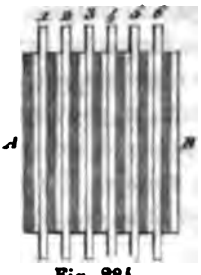


Fig. 284.

es ces figures, les traits foncés indiquent les fils d'ar-
t les clairs les fils de fer. La tension de l'électricité,
extrémités de cette pile, augmente avec le nombre
es et avec la différence de température qu'on établit
soudures paires et impaires. Kohlrausch en a cons-
formée de 769 couples, et présentant par consé-
points de contact impairs et autant de pairs. Chaque
uit formé d'un fil de fer long de 6 centimètres et
mètre de diamètre, et d'une bande étroite d'argen-
soudures étaient faites à l'étain; les couples étaient
de la cire, et des petites bandes de bois servaient à
nir dans une position convenable. La pile se termi-
deux extrémités par les fils de fer situés dans la partie

supérieure du faisceau sur laquelle pouvait s'ajuster un plateau rempli de neige ou de glace fondante, tandis que la partie inférieure était étroitement enfermée dans une boîte de tôle qu'on plongeait dans de l'eau. Mise en communication avec le condensateur par l'une ou l'autre de ses extrémités, la pile ne parvint à le charger que lorsque l'eau eut été réchauffée par une lampe à alcool ; alors on obtint de l'électricité positive à l'extrémité B, les points de soudure impairs étant ceux qu'on réchauffait, et de la négative à l'extrémité A. Des mesures précises prises au moyen de la balance électrique montrèrent que la tension électrique de chacun des pôles augmentant avec le nombre des couples, était de 0,79 avec 349, de 1,18 avec 420, et de 1,97 avec 769.

Avec une pile thermo-électrique de barreaux de bismuth et d'antimoine construite de la même manière, mais dans laquelle il n'y a que 20 couples, et dont les barreaux ont 10 à 12 centimètres de longueur sur 4 à 5 millimètres de diamètre, on obtient des courants qui sont très-propres à produire des effets d'induction, et peuvent donner de fortes étincelles quand on les fait passer à travers un gros fil ou un ruban métallique roulé en spirale. Il faut seulement, pour avoir plus d'effet, remplacer l'eau chaude par une lame de tôle qu'on chauffe à la lampe.

La pile thermo-électrique, comme on peut le comprendre d'après la description que nous en avons donnée, n'est pas un instrument de nature à être très-utile pour la production des courants électriques, sauf dans quelques cas particuliers où il s'agit moins d'étudier les effets de l'électricité dynamique que de déterminer les lois de sa propagation. Mais elle peut rendre à la science des services d'un autre genre, en lui fournissant un moyen plus sensible qu'aucun autre connu d'apprécier les différences de température. C'est à M. Nobili qu'on doit cette application importante de la thermo-électricité. Il construisit d'abord une pile thermo-électrique formée de six couples bismuth et antimoine disposés en couronnes, et placés dans l'intérieur d'une boîte cylindrique de façon que les points de contact impairs fussent dans la partie supérieure, et que les

lacés inférieurement, fuss cachés au fond de la boîte
ourés d'une couche de mastic s'élevant jusqu'à 6 ou
imètres seulement au-des s des points de contact im-
Les extrémités de la pile étaient soudées à deux appen-
n cuivre qui, sortant de la boîte, servaient à mettre la
communication avec les extrémités d'un galvanomètre
licateur à deux aiguilles. M. Nobili ayant placé la boîte
-électrique sous un récipient de la pompe pneuma-
obtint en raréfiant l'air un refroidissement qui se faisant
immédiatement aux points de contact supérieurs non
ès de mastic, produisit un courant très-prononcé; il put
er ainsi que la sensibilité de son thermo-multiplicateur
5 à 20 fois plus grande que celle du thermomètre mé-
e de Breguet. Divers perfectionnements furent apportés
M. Nobili et Melloni à l'appareil primitif du premier, et
ux physiciens parvinrent au moyen de leur thermo-mul-
teur à découvrir la présence de la chaleur dans les in-
, dans les corps phosphorescents, en un mot dans un
nombre de cas où l'on n'avait pas encore pu la soup-
. Mais c'est essentiellement à Melloni qu'on doit, par
ns qu'il a apportés à la construction de la pile thermo-
que, d'en avoir fait l'un des instruments les plus pré-
de la physique expérimentale.
pile de M. Melloni se compose de cinquante petits bar-
de bismuth et d'antimoine très-déliés, ayant environ 4 à
imètres de longueur, soudés les uns aux autres de ma-
que les barreaux de bismuth alternent avec ceux d'anti-
comme le représente la figure 285, et disposés de façon

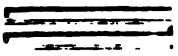


Fig. 285.

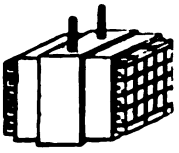


Fig. 286.

er un petit faisceau solide et compact (fig. 286), au
d'un mastic isolant qui remplit les vides que laissent

entre eux les barreaux qui ne doivent se toucher qu'aux soudures. Les deux barreaux extrêmes de la chaîne, l'un de bismuth, l'autre d'antimoine, viennent communiquer au moyen de deux fils de cuivre assez gros mais très-courts, l'un à la cheville x et l'autre à la cheville y, qui forment ainsi les deux pôles de la pile qu'on met en communication avec les deux extrémités du fil d'un multiplicateur. Les deux chevilles passent à travers un morceau d'ivoire fixé sur un anneau métallique qui embrasse la pile thermo-électrique et peut, au moyen d'un appendice muni d'une charnière, permettre de déplacer l'axe de la pile dans toutes les directions voulues. Il faut avoir soin de noircir les faces terminales de la pile, et on recouvre d'un étui métallique bien poli qui l'enveloppe sans la toucher, celle de ces faces qu'on veut maintenir à une température ambiante pendant que l'autre, laissée à découvert, est exposée aux sources de chaleur et de froid. La sensibilité de cet appareil est telle que si l'on tourne la face découverte de la pile vers une personne placée même à 25 pieds de distance, la déviation de l'aiguille aimantée accuse l'émanation du calorique rayonnant.

Pour que le galvanomètre multiplicateur adapté à la pile fût le plus sensible possible, il faudrait connaître la longueur du fil de ce galvanomètre équivalente en conductibilité au circuit même de la pile, et conclure de là le nombre de tours nécessaires à donner à l'instrument; mais par de simples tâtonnements, Melloni est parvenu à trouver le galvanomètre multiplicateur qui remplit le mieux le but. Le fil d'un cuivre aussi pur que possible est d'un diamètre de $\frac{2}{3}$ de millimètre, de 7 à 8 mètres de longueur; il fait 40 circonvolutions autour du cadre; ces tours sont symétriquement disposés de part et d'autre de la ligne moyenne sur une largeur de 4 centimètres; les aiguilles bien choisies, aimantées et compensées avec soin sont liées entre elles au moyen de deux fils fins de cuivre tordus ensemble, et délicatement suspendus à un fil de cocon. Ainsi construit, le thermo-multiplicateur est d'une sensibilité extrême, quoiqu'il semble au premier coup d'œil que l'intervention du fil du galvanomètre doive diminuer l'intensité du

mat ; mais cette diminution très-légère, vu le peu de lon-
r et la grandeur du diamètre du fil d'une part, et le
bre considérable ainsi que la petite dimension des bar-
x de bismuth et d'antimoine d'autre part, est plus que
pensée, ainsi que nous l'avons déjà vu, par l'augmenta-
d'effet qui résulte du nombre de tours qui agissent sur les
illes aimantées. Il est à remarquer également que le
bre assez considérable de couples thermo-électriques dont
mpose la pile a le double avantage de permettre de pré-
r une plus grande surface à l'action de la chaleur, et de
s efficace l'intervention du multiplicateur dont l'inter-
tion, s'il n'y avait qu'un seul couple, affaiblirait trop le
ant.

ur se servir de l'instrument dans la mesure des tempé-
res, M. Melloni a d'abord constaté par une comparaison
des thermomètres ordinaires, qu'avec les piles de bis-
h et d'antimoine l'intensité du courant est proportionnelle
différence de température des soudures; puis il a réussi,
ant varier d'une quantité connue la quantité de chaleur,
blir le rapport qui lie les intensités du courant, aux dé-
ons de l'aiguille, mesurées au moyen d'une division cir-
e faite avec beaucoup de soin [1]. Dans les appareils de
elloni l'intensité est exactement proportionnelle à la dé-
n jusqu'à 20°; pour des déviations plus considérables,
ble à dix colonnes dressée empiriquement donne les
ités correspondantes aux déviations observées; mais il
tâcher, pour obtenir plus d'exactitude, comme M. Mel-
a réussi à le faire, à ne p avoir de déviations qui dé-
nt sensiblement 30°.

Pouillet a également appliqué la thermo-électricité à la
re des températures, en construisant un instrument qui,

[1] Melloni distingue la *déviation impulsive* et la *déviation définitive*, c'est-
le maximum d'écart que l'aiguil : atteint par son premier mouvement
tion, et l'écart où elle s'arrête après une série d'oscillations ; il a saisi
ports constants qui existent entre elles, et qui permettent de déduire l'une
tre, quand on a dressé préalablement une table de ces rapports pour cha-
aiguille.

Fig. 287.

sous [illegible] de pyromètre magnétique, surer t[illegible] les températures, depui gra[illegible]s [illegible]és de froid jusqu'aux plus [illegible] de c[illegible]eur. L'instrument compr p[illegible] m[illegible]tes, savoir un galvanomètr sole à si[illegible] formé avec un ruban de 15 à 20 millimètres de longueur [1], et thermo-électrique même. Ce dernier se compose d'un tube de fer ou plutôt non de fusil *a b*, et d'un fil de platin du milieu *c* de la culasse du fond, e corporé à la masse du fer; il traver tube pour venir se rendre à la pièce rouge *x*; de la culasse annulaire *d* p cond fil de [illegible]latine qui vient se soude de cuivre; le second fil est mainte corps mauvais conducteur au milie verture de la culasse annulaire *d* po puisse pas la toucher; *f* est une pi fixée sur le bout du tube, et destinée deux pièces de cuivre *x* et *y*. La com entre le multiplicateur et le pyromèt ment dit s'établit au moyen de deux vre de 1 millimètre de diamètre e viennent aboutir d'une part aux pièc pyromètre, et d'autre part aux extrém ban dont se compose le multiplicateu

M. Pouillet a gradué son instrum comparaison avec un pyromètre à air tensité du courant est loin d'être nelle à la température, du moins av de platine et fer. Il n'en est pas de un couple bismuth et cuivre; des faites comparativement avec un pyro et un thermomètre à alcool, ont mont

[1] Tome I, page 336.

u courant de ce couple, mesurée par le galvanomètre est bien proportionnelle à la température à partir de dessus de 0° jusqu'à 78° au-dessous. Les basses tem- s ont été obtenues au moyen de la pâte d'éther et arbonique, dans laquelle on plongeait l'une des sou- couple, pendant que l'autre était dans la glace fon- e pyromètre thermo-électrique donne — 40°,5 pour rature de congélation du mercure, ce qui est d'accord indications du thermomètre à air.

estion des rapports qui existent entre les intensités ants thermo-électriques et les températures corres- es avait déjà été traitée par M. Becquerel, comme nous u dans le § 2; néanmoins, malgré ces recherches et M. Pouillet, elle laissait encore à désirer au point de la confiance qu'on pouvait attacher pour la mesure des températures à l'emploi des propriétés thermo- es des métaux. C'est ce qui engagea M. Regnault à avec soin, dans ses recherches sur la chaleur, ce pro- rmo-électrique d'après une méthode assez différente dont on avait fait usage jusqu'alors, et qui le conduisit sultats importants.

struisit d'abord un couple bismuth et antimoine formé barreaux A B C D (fig. 288), obtenus par moulage,

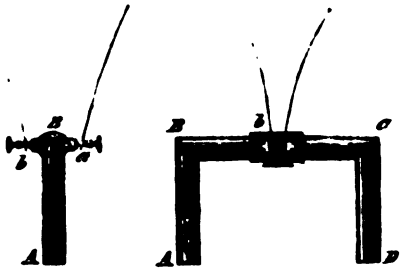


Fig. 288.

parfaitement semblables sont juxtaposés dans toute ndue, étant séparés par une lame mince d'ivoire qui permet de se toucher qu'aux extrémités A et D où se t les deux soudures; l'appareil est divisé de façon qu'on

puisse introduire dans le circuit le fil d'un galvanomètre. Ce couple, dont les branches verticales ont 12 centimètres de longueur tandis que la branche horizontale en a 20, est le couple *normal* auquel tous les autres couples thermo-électriques doivent être rapportés; mais il ne doit servir que pour les températures peu élevées qui ne dépassent pas 30°.

Le couple destiné aux hautes températures est formé par un fil de fer et par un fil de platine de 1 millimètre de diamètre, dont les extrémités sont soudées à l'argent; le fil de fer E et F (fig. 289) a 80 centimètres environ de longueur, et les deux fils de platine E *c* et F *d* sont attachés auprès du fil de fer dont ils sont séparés par une enveloppe isolante; dans la partie inférieure les fils sont séparés par une lame de verre mince; ils sont terminés par deux appendices en laiton qui permettent d'introduire dans le circuit un fil galvanométrique.

Fig. 289.

Le galvanomètre dont on fait usage est un galvanomètre différentiel très-sensible dont l'un des fils est introduit dans le circuit bismuth et antimoine, et l'autre dans le circuit fer et platine. Le couple normal bismuth et antimoine est disposé de manière que les deux soudures plongent dans deux vases remplis d'eau à différentes températures, et séparés l'un de l'autre par un écran; deux thermomètres très-exacts et rigoureusement comparés donnent la température dans laquelle chacune des soudures est placée. Les soudures E et F des couples fer et platine sont maintenues dans des tubes de verre remplis d'une huile fine qui ne renferme pas d'oxygène; l'un des tubes est placé dans une chaudière pleine d'huile avec un thermomètre à mercure marchant de 0° à 350°; l'autre qui renferme la seconde soudure est maintenu à une température constante au moyen de glace fondante ou dans un grand bain d'eau à côté du thermomètre à mercure.

Les appareils étant ainsi disposés, si l'on porte la soudure F du couple fer et platine à une température mesurée par le thermomètre du bain d'huile, il en résulte un courant qui

ille du galvanomètre; mais en élevant de la quan-
ire la température de l'une des soudures du couple
antimoine, on obtient un second courant qui, di-
s contraire du premier, neutralise son effet et ra-
ille au 0°. On note les températures que marquent
ermomètres au moment de la neutralisation. La
e température qui produit sur le couple bismuth
e un courant capable de neutraliser celui que pro-
rtaine différence de température sur le couple fer
st beaucoup moindre que cette dernière, car celle-
100°, la première n'est que de 6°,5.
nt le bain d'huile à différentes températures, on ob-
rants dans le couple fer et platine, qui font équilibre
nomètre à des courants produits dans le couple bis-
timoine par des différence de température corres-
On peut donc dresser une le dans laquelle sont
un côté les différences température T′ — T,
— T, du couple fer et plati mesurées par le ther-
air, et de l'autre les di rences de température
t, t'' — t, du couple bisn ıth et antimoine. Si l'on
er une température élevée avec le couple fer et pla-
t de chercher la température t'' — t, qui lui fait équi-
le couple bismuth et antimoine, et on trouve dans
température T′ — T correspondante sur le couple
ıe. Il faut, pour que les résultats soient exacts, que
uples restent constamment parfaitement compara-
ı très-grand nombre d'expériences ont montré à
lt qu'il n'en est pas toujours ainsi, et que les varia-
ent probablement à des changements qui s'opèrent
moléculaire des métaux à l'endroit des soudures.
ıt dans le couple fer et platine qu'elles se font sen-
couple bismuth et antimoine donne des résultats
ants quand on fait varier la température des sou-
des limites qui n'étaient pas dépassées dans les ex-
omparatives, c'est-à-dire de 15° à 30°. Entre ces
e différence de température de 1° produit sensible-
lvanomètre la même déviation de 17°, quelle que soit

leur température absolue; mais ce qui est assez
assez contraire à l'opinion généralement reçue, u
augmentation de 1° dans la différence de temp
deux soudures du couple bismuth et antimoine
accroissement dans le courant d'autant plus faible
rence de température est plus grande, même entu
de 15° à 35°. Ce résultat est facile à vérifier en
courant thermo-électrique dans le galvanomètre
de manière à lui faire équilibre, un courant hyd
très-constant et très-fai ɜ, dont on augmente la fo
lement à mesure qu'on élève la température de l'
dures du couple bismuth et antimoine. L'équilib
accroît de 1° la différence de température entre le
dures, et on obtient pour cet accroissement une dé
tant moindre que cette différence était déjà plus g

M. Regnault avait fait quelques essais avec des
més de fils métalliques autres que ceux de fer et
mais le couple fer et platine est encore le plus régu
dont l'intensité thermo-électrique diminue le moin
vation de la température; il n'en est pas de mê
couple fer et cuivre; ainsi la sensibilité de ce cou
complétement nulle à 240°; puis si on élève la temp
haut, l'aiguille, qui était restée stationnaire de 230
trograde, et l'intensité du courant, loin d'augme
température, diminue. Ce changement de direction
du courant du couple fer et cuivre, à une certai
ture, avait été déjà observé, comme nous l'avons
par M. Becquerel.

Les recherches de M. Regnault nous montrent
qu'il y a d'employer les courants thermo-électriqu
sure exacte des températures, et il n'y a rien là d'é
fois qu'il est bien établi, ainsi que nous l'avons
courants ne sont pas dus à une simple différence
lité de la chaleur à se propager, mais bien aux d
moléculaires toujours plus ou moins irréguliers qu
gnent cette propagation.

Toutefois, si le thermo-multiplicateur ne peut pas

mômètre pour l'exactitude dans la mesure des tempéra-
t, il peut être employé avec avantage dans bien des cas où
hermomètres, même les plus sensibles, ne sont ni assez
pts ni assez délicats pour accuser les changements brus-
s et peu considérables de température, comme dans les ex-
nces de Melloni sur la chaleur rayonnante. MM. Becquerel
nachet ont aussi fait une application heureuse de la thermo-
ricité pour la mesure de la température des tissus organi-
s du corps de l'homme et des animaux, en construisant des
illes métalliques mixtes d'un diamètre de moins d'un mil-
ire, qu'ils introduisent par le procédé de l'acupuncture
s un tissu organique. Il faut avoir deux aiguilles compo-
chacune de deux fils très-fins, l'un de cuivre, l'autre d'a-
, soudés ensemble par un de leurs bouts. La soudure de
des aiguilles mixtes est placée dans un milieu dont la tem-
ure demeure constante pendant la durée de l'expérience, la
ure de l'autre aiguille mixte est introduite dans le tissu
on veut mesurer la température. Les bouts libres d'acier
eux aiguilles sont mis en communication par un fil d'acier,
que les bouts libres de cuivre sont réunis par le fil d'un
nomètre. Lorsque les deux soudures ont la même tem-
ure, l'aiguille du galvanomètre n'est pas déviée, mais la
re différence de température, ne fût-elle que de $\frac{1}{10}$ de de-
ffit pour produire une déviation dont le sens et l'éten-
rvent à évaluer exactement cette différence, et par consé-
la température de l'un des milieux quand celle de
e, qui est constante, est connue. Différentes observations
en mettant la soudure de l'une des aiguilles thermo-élec-
s dans la bouche, et l'autre par exemple dans le muscle
s d'un jeune homme, ont donné une déviation de 4° en
r de la bouche, ce qui correspondait, d'après des expé-
s préalables faites sur la température de la bouche, à
0 pour cette dernière, et seulement à 36°,20 pour celle du
s biceps.

pince thermo-électrique de M. Peltier est construite aussi
le même principe. Elle consiste en deux couples très-déliés
uth et antimoine A et B (fig. 290); ces deux couples sont

liés entre eux par un fil de cuivre qui unit l'antimoine a' du couple supérieur au bismuth b' du couple inférieur ; et par des

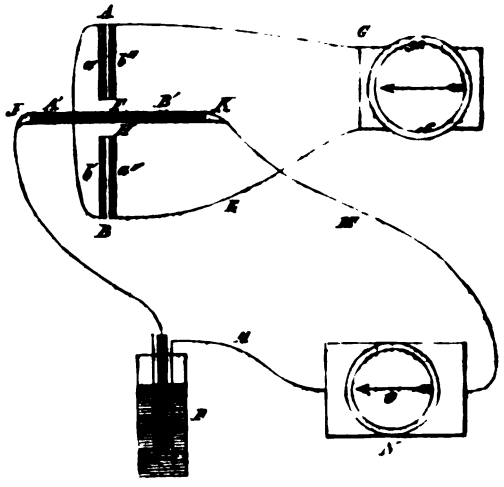


Fig. 290.

fils de cuivre D et E qui, communiquant avec le fil du galvanomètre, complètent le circuit entre le bismuth supérieur b'' et l'antimoine inférieur a''. F et H sont les extrémités libres et soudées de chacun des couples qui forment les mâchoires de la pince, qu'un ressort peut appliquer l'une contre l'autre ou contre une petite portion d'un fil ou d'un barreau métallique dont on veut pouvoir connaître la température dans un moment donné. Dans la figure 290, les deux mâchoires peuvent s'appliquer contre le point de contact F d'un barreau d'antimoine A et d'un barreau de bismuth B, qui sont traversés par le courant d'un couple P dont les conducteurs aboutissent en J et en K. C'est par ce moyen que M. Peltier a constaté que, suivant le sens du courant qui passe de l'antimoine au bismuth, il y a production de chaleur ou production de froid [1]. Ainsi il a obtenu au galvanomètre G de la pince thermo-électrique — 37° quand le courant marchait du bismuth à l'antimoine,

[1] Tome II, p. 244.

et + 45°, c'est-à-dire une déviation de 45° dans l'autre sens qui indiquait un réchauffement au lieu d'un refroidissement, quand le courant marchait de l'antimoine au bismuth. Pour mettre ce résultat à l'abri de toute objection, M. Peltier l'a confirmé, comme nous l'avons dit, en faisant traverser la boule d'un thermomètre à air (fig. 291) par un barreau d'antimoine et de bismuth dont la soudure S était au milieu de la boule. Le courant d'un couple hydro-électrique arrivant à l'assemblage des deux barreaux par les conducteurs *f* et *g* faisait baisser ou monter, suivant le sens dans lequel il cheminait, la colonne d'alcool coloré qui, maintenue dans le tube capillaire, servait d'index.

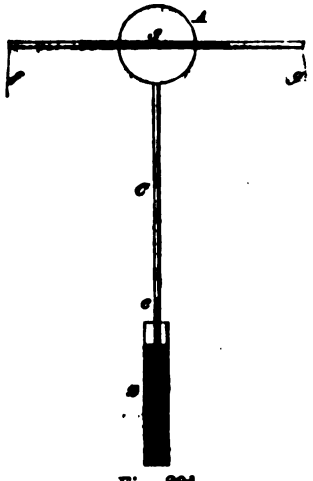


Fig. 291.

§ 5. Rapprochement entre les effets calorifiques du courant et les phénomènes thermo-électriques. — Essai de théorie.

Nous avons déjà fait remarquer, dans le § 8 du chapitre II de ce volume[1], le rapport remarquable qui existe entre les changements de température que produit un courant en passant d'un métal dans un autre, et les effets électriques que détermine un changement de température au point de contact de ces deux mêmes métaux. Peltier, qui le premier a attiré l'attention sur ce sujet, avait cru pouvoir établir comme règle à peu près générale, que la plus grande élévation de température avait lieu quand le courant passe du moins bon conducteur dans le meilleur, et que c'est l'inverse quand le courant change de sens. Ainsi, quand le courant passe d'un fil de fer à un fil de zinc, la température s'élève de 30°, et quand

[1] Tome II, p. 216.

il passe du zinc au fer seulement de 13°; quand il passe du zinc au cuivre, l'élévation de température est de 20°; elle n'est plus que de 14° quand il passe du cuivre au zinc. Avec d'autres métaux, comme nous l'avons vu, ce n'est pas seulement une moindre élévation de température, mais un abaissement notable qu'on obtient en changeant le sens du courant; c'est ce qui a lieu avec le bismuth et l'antimoine en particulier, soit lorsqu'ils sont combinés ensemble, soit lorsque chacun d'eux est combiné séparément avec un autre métal. Ainsi une lame de bismuth soudée entre deux lames de cuivre donne, avec un courant allant du cuivre au bismuth, + 20°[1], et avec un courant allant du bismuth au cuivre, — 10°; une lame d'antimoine dans les mêmes circonstances donne — 5° avec un courant qui va du cuivre à l'antimoine, et + 10° avec un courant qui va de l'antimoine au cuivre; c'est ce qui fait que le maximum d'effet a lieu quand on soude la lame de bismuth et celle d'antimoine, car dans ce cas on a en effet — 37° quand le courant va du bismuth à l'antimoine, et + 45° quand il va de l'antimoine au bismuth.

Ces résultats ne peuvent être obtenus qu'autant que le courant n'est pas trop fort; si on augmente graduellement son intensité, on arrive d'abord à ne plus avoir ni élévation ni abaissement de température à la soudure qui se refroidissait, puis vient une élévation de température toujours moindre que celle qui se manifeste quand le courant change de direction.

L'effet remarquable qui a lieu avec le bismuth montre que la loi de Peltier est loin d'être générale, car il faudrait admettre, pour l'y faire rentrer, que le bismuth est de beaucoup le plus conducteur de tous les métaux, ce qui est loin d'être le cas; de plus l'antimoine et le bismuth qui, par leur combinaison, donnent le maximum d'effet, sont très-rapprochés l'un de l'autre dans l'ordre de leur conductibilité électrique. Ces phénomènes tiennent donc probablement à l'état cristallin de ces métaux,

[1] Ces degrés sont ceux du galvanomètre multiplicateur lié avec la pince thermo-électrique décrite plus haut, qui serre entre ses deux mâchoires le point de contact des deux métaux soudés ensemble.

est bien probable que c'est aussi aux différences dans leur nature moléculaire que les autres métaux doivent les différences de température que détermine le courant à leur point de jonction, suivant qu'il est dirigé dans un sens ou dans un autre. C'est seulement sur la chaleur qui est développée dans toute la longueur d'un fil homogène, que la résistance du métal à la transmission de l'électricité exerce une influence que nous avons appréciée et même déterminée. Mais il faut avoir soin de distinguer, comme nous avons déjà dit que Magnenheim l'avait fait[1], cet effet calorifique des variations de température qui ont lieu aux points de contact de deux métaux hétérogènes que traverse un courant. Ce sont deux phénomènes d'un ordre tout différent, et nullement soumis aux mêmes lois; il est quelquefois difficile de démêler la part de chacun d'eux dans le résultat observé, mais ils n'en sont pas moins distincts.

Une autre preuve que le second phénomène est essentiellement lié avec l'état moléculaire des corps, c'est le rapport intime qu'il présente avec la production des courants thermo-électriques, que nous avons vu être un effet des modifications moléculaires que la propagation de la chaleur apporte dans les corps où elle a lieu. En effet, l'élévation de température qui se développe au point de contact d'un barreau de bismuth et de cuivre, lorsque le courant passe du cuivre au bismuth, produit elle-même un contre-courant qui va directement du bismuth au cuivre. De même l'abaissement de température qui a lieu quand le courant passe du bismuth au cuivre produit un contre-courant qui va du cuivre au bismuth. Remarquons même que ces contre-courants doivent diminuer, légèrement il est vrai, le courant initial qui produit l'élévation ou l'abaissement de température. Ainsi donc il y a une liaison intime entre la cause qui produit le courant thermo-électrique par une élévation ou un abaissement de température au point de contact des deux métaux, et la cause qui détermine par le passage d'un courant extérieur, un abaissement ou une élévation de

[1] Tome II, page 246.

température au point de contact de ces deux mêmes

M. Frankenheim, guidé par ce genre de considé fait une série nombreuse d'expériences en se servant rail en croix de Peltier, qui consiste en deux barres muth et d'antimoine croisés l'un sur l'autre et sou milieu. Deux des extrémités de cette croix sont mis munication avec les pôles d'une pile, et les deux a les bouts du fil d'un galvanomètre. Il résulte de ce naison que la chaleur ou le froid développés par l au point de soudure, produit un courant therme qui fait dévier l'aiguille du galvanomètre. En se se galvanomètre à tangente et d'un rhéostat pour me gler l'intensité du courant voltaïque, Frankenheim que l'élévation de température produite au point qu'il nomme *secondaire* est proportionnelle à l'i courant, tandis que l'élévation de température pri lieu dans le conducteur entier par l'effet de sa rés proportionnelle au carré de l'intensité du courant. dernière température varie-t-elle d'une manière très avec l'épaisseur des barreaux métalliques, tandis qu rature secondaire est presque indépendante de cette C'est ce qui fait que pour se mettre à l'abri de la bien étudier l'effet de la seconde, il vaut mieux s barreaux épais pour former les croix plutôt que d minces, qui d'ailleurs donnent des résultats moins parce que leur défaut d'homogénéité exerce une infl portionnellement plus considérable.

M. Frankenheim, en employant des barreaux mét nature diverse, a bien constaté que la température ne dépend pas, comme l'avait cru Peltier, de la co des métaux, mais de leur propriété thermo-élect trouvé même que les divers métaux, dans leur apti gendrer la chaleur secondaire, suivent le même ordr la production des courants thermo-électriques, de que le bismuth et l'antimoine sont aux extrémités et le cuivre au milieu. Or comme cette chaleur produit la thermo-électricité, il en résulte que si on a

aisons dont les pouvoirs thermo-électriques soient $= m : n$, ura aussi que les variations de température secondaire pro- tes par le même courant qui les traverse toutes les deux se- t entre elles $= m : n$. Mais si les différences de température points de soudure étaient les mêmes pour les deux com- isons, on aurait que les intensités de leurs courants thermo- triques seraient entre elles $= m : n$; or ces différences de pérature, au lieu d'être égales, étant elles-mêmes $= m : n$, résulte nécessairement que les intensités des deux courants mo-électriques sont entre elles $= m^2 : n^2$. Cette loi impor- a été vérifiée par M. Frankenheim, qui a également étudié action que le courant secondaire, qui est produit par le ré- ffement ou le refroidissement au point de soudure, doit er sur le courant même de la pile. Il n'en résulte pour ce ant aucun affaiblissement, si l'interposition d'un métal le circuit formé d'un autre détermine à ses deux points de act deux courants égaux et contraires; tel est le cas, par ple, de l'interposition d'un barreau de bismuth entre deux ducteurs de cuivre, où la chaleur secondaire produit un ré- ffement égal aux deux points de contact, et par conséquent loppe deux courants thermo-électriques égaux dirigés en contraires, qui s'annulent. Mais, si par l'effet de l'action ndaire il y a réchauffement à l'un des points de contact et idissement à l'autre, ces deux courants thermo-électriques tant, et le courant principal (celui de la pile) éprouve diminution qui est égale au double de l'intensité du cou- produit par le couple bismuth et cuivre. Peut-être est-ce tion de ces courants secondaires inverses du courant prin- qu'on peut attribuer les différences apparentes de conduc- té de métaux qui semblent identiques. Il suffit en effet d'une différence dans l'état moléculaire, et de l'existence, par ple, de petits cristaux dans la texture d'un métal, pour que sage de l'électricité d'un de ces métaux dans un autre, é dans une direction divergente, fasse naître un courant mo-électrique. C'est ce qui fait que le cuivre galvano- ique à grain plus grossier diminue moins l'intensité du nt que le cuivre fondu à grain plus fin, qui offre au cou-

rant un plus grand nombre de passages d'un petit cristal à un autre. Le même effet se présente avec d'autres métaux, et en particulier avec le fer carbonisé où les molécules de charbon sont intimement mélangées avec celles du fer.

C'est également à une réaction produite par le courant secondaire sur le courant principal que nous devons attribuer les résultats curieux obtenus par M. Wartmann sur la diathermansie des métaux; M. Wartmann désigne ainsi la faculté que possèdent deux métaux à laisser passer de l'un à l'autre, quand ils sont en contact, un courant électrique dont l'intensité est appréciée par son effet calorifique sur l'hélice d'un thermomètre de Breguet, mise dans son circuit. Le courant lui-même était produit par un seul couple cuivre et zinc amalgamé plongé dans l'eau acidulée. Un très-grand nombre d'expériences ont montré que les couples formés de deux métaux non soudés présentent de grandes différences dans la faculté qu'ils possèdent de laisser passer le courant apprécié toujours par son effet calorifique, suivant le sens de ce courant lui-même. mais que ces différences existent surtout quand un des métaux du couple, au moins, est à texture cristalline, tandis qu'elles sont nulles quand les couples ne renferment que des métaux ductiles. Ce résultat indique bien clairement que la diminution d'intensité du courant principal provient du courant thermo-électrique développé par la chaleur secondaire que produit le passage de l'électricité au point de contact des deux métaux du couple, chaleur qui elle-même varie en intensité suivant que le courant principal passe du premier au second ou du second au premier.

M. Frankenheim, en plongeant dans un bain d'eau le point de soudure d'une croix fer et cuivre, est parvenu à déterminer la température qui produit directement dans cette combinaison un courant thermo-électrique égal en intensité à celui que développe la chaleur secondaire dégagée par un courant voltaïque d'une puissance connue. Ainsi il a trouvé que pour un courant de 45° à son galvanomètre à tangente, cette température est de 20°, et que par conséquent la chaleur secondaire produite au point de soudure doit être aussi de 20°.

Nous ne nous arrêterons pas pour le moment aux idées théo-
ques de M. Frankenheim qui estime que dans une chaîne
rmo-électrique dont tous les points de soudure ont une tem-
rature uniforme, il existe par l'effet de cette température des
rants égaux et contraires qui se neutralisent, qu'il suffit
me inégalité de température entre quelques points de sou-
re pour déterminer la supériorité d'un ou de plusieurs cou-
nts dirigés dans un sens sur ceux dirigés dans l'autre. Dans
point de vue, la véritable électricité de contact serait celle
terminée par les métaux dans l'ordre de leur thermo-électri-
é et non pas dans l'ordre de leur tension voltaïque. Nous
iendrons sur ce point quand nous aurons achevé l'étude des
rces électriques. Pour le moment nous nous bornerons à con-
ter le fait bien établi par M. Frankenheim de la liaison intime
i existe entre la température secondaire développée au point
contact de deux métaux par le passage d'un courant élec-
que, et le pouvoir thermo-électrique de ces métaux. Or, comme
st bien prouvé par les expériences de Swanberg, de Frantz,
Matteucci et de Magnus, que la thermo-électricité dépend de
constitution moléculaire des corps et qu'elle est un résultat de
perturbation apportée dans cette constitution par le mouve-
nt de la chaleur, il en résulte que les changements secon-
res de température déterminés dans le point de contact de
x conducteurs hétérogènes par le passage du courant, sont
lement dépendants de cette constitution moléculaire et du
ble que le courant y apporte.
i nous rapprochons maintenant les uns des autres tous les
nomènes qui lient ensemble l'électricité et la chaleur, nous
voyons partout ressortir l'influence moléculaire. La produc-
n de la chaleur primaire qui résulte du passage du courant
ravers un conducteur qui lui présente une résistance, est
lemment due aux mouvements moléculaires que ce passage
ermine, mouvements dont l'existence devient visible pour
n qu'il y ait de solution de continuité dans le conducteur,
me dans l'expérience de l'arc voltaïque, et qui n'en est pas
ins sensible dans les conducteurs continus par l'altération
e ces conducteurs éprouvent dans leur état moléculaire

ıter leur polarité électrique. Si dans ce dernier cas
ont parfaitement libres de se mouvoir dans tous les
oit y avoir aucun effet électrique extérieur, parce
ricités polaires des atomes se neutralisent mutuel-
elles soient exaltées ou non par la chaleur, puisque
y a plus d'électricité d'une espèce que d'une élec-
autre, quelle que soit leur intensité absolue; c'est
s choses se passent dans les liquides et dans les
-ductiles. Mais si les atomes sont groupés de
onner au corps une structure plus ou moins cristal-
-dire non uniforme dans toutes les directions, il
lter que, lorsque la chaleur en se propageant exalte
électrique de certains atomes, ceux-ci n'étant pas
de se mouvoir librement et par conséquent d'af-
lisposition qui rétablisse l'équilibre électrique, la
tégrante qu'ils forment se trouve avoir une pola-
ue dans une certaine direction, et une polarité
ns l'autre. Tous les phénomènes pyro-électriques
t montrent en effet que c'est à la différence de
oléculaire, qu'est due l'apparition de l'électricité
ne place et de la négative à une autre. Quant au fait
ı électricités changent de place quand le refroidis-
cède au réchauffement, il tient à la manière dont
les atomes de la molécule, suivant qu'ils reçoivent
la chaleur, c'est-à-dire qu'ils sont plus ou moins
ar conséquent doués d'une polarité électrique plus
orte. Nous reviendrons sur ce point particulier qui
tre éclairci, quand nous aurons achevé l'examen de
auses qui donnent naissance au dégagement de l'é-

riétés thermo-électriques des métaux liées comme
ristaux à la structure moléculaire, se manifestent
de courant à cause de la conductibilité, mais elles
t également de l'état polaire de chaque molécule
état exalté par la chaleur et qui ne produit aucun
ur que lorsqu'il y a mouvement de la chaleur, c'est-
rence de température entre les molécules consécu-

tives. Le principe fondamental dans tout cet ordre de p mènes aussi bien pour les corps conducteurs que po corps isolants, c'est que l'état électrique qu'acquiert la n'est que le résultat de l'état électrique de chacune des cules intégrantes de cette masse, d'où résulte, suivant nière dont ces molécules sont disposées les unes à l'égr autres, des manifestations électriques différentes.

Quant aux phénomènes de température secondaire qu mine un courant en passant d'un métal à l'autre, leur avec la propriété thermo-électrique des deux métaux en montre qu'ils sont dépendants, comme cette propriété constitution moléculaire des corps et des perturbatio le passage du courant y détermine. Nous avons dé remarquer [1] que, si l'on part de l'hypothèse que les sont doués d'un mouvement rapide de rotation auto axe, cause à la fois de leur température et de leur électrique, il peut arriver que cette polarité naturelle accord ou en désacord avec la polarité artificielle qu mine le passage du courant. Dans le premier cas le mou doit être accéléré et la température s'élever, tandis que second elle s'abaisse, le mouvement de rotation devan nuer. Mais il faut, pour que ces différences soient sensib le courant ne soit pas trop fort, car pour peu qu'il ait sité, la rotation imprimée aux atomes par la polarit cielle l'emporte trop sur celle qui produit la polarité na pour qu'il n'y ait pas en tout cas accélération de mou et par conséquent toujours chaleur, seulement un peu un peu moins considérable, suivant que les polarit cordent ou ne s'accordent pas.

Les expériences de Peltier et celles de Frankenheim so à fait d'accord avec cette manière de se rendre compte ordre de phénomènes. Ainsi, d'après Peltier, quand le c passe du fer au zinc, la température s'élève de 30°; qu passe du zinc au fer, seulement de 13°; quand il passe d au cuivre, elle s'élève de 26°, et quand c'est du cuivre a

[1] Tome II, pages 246 et 247.

4°. Mais la différence est bien plus marquée quand les deux
aux en contact, ou du moins l'un des deux, ont une struc-
cristalline bien prononcée. Ainsi une lame de bismuth
ée à une lame de cuivre donne avec un courant d'une
sité croissante dirigé du bismuth au cuivre, les résultats
ants :

Intensité du courant.	Température produite au point de contact.
15°	— 2°,5
20°	— 4°,5
28°	— 4°,5
30°	0°
35°	+ 4°,05

courant est dirigé du cuivre au bismuth, on a au point
ntact une température qui s'accroît de 10° à 50° à mesure
gmente l'intensité du courant. Il est évident que jusqu'au
nt d'une intensité de 30°, l'effet du passage de l'électri-
est une diminution du mouvement rotatoire naturel des
es, puisqu'il y a abaissement de température, mais qu'à
r de cette intensité de 30°, le mouvement rotatoire im-
é aux atomes par le courant est assez fort pour compenser
a delà cette diminution. Une lame d'antimoine soudée à
me de cuivre présente un phénomène inverse ; l'abaisse-
de température a lieu quand le courant passe du cuivre
timoine, et l'élévation quand il passe de l'antimoine au
e. C'est ce qui fait que l'association de l'antimoine et du
uth produit le maximum d'effet.

is sans entrer dans aucune hypothèse sur la cause de la
ité atomique et de la température, on peut cependant
er une grande analogie entre les phénomènes électro-
iques et ceux que présente simplement la chaleur. C'est
'a montré M. Clausius dans un travail théorique sur l'appli-
n de la théorie mécanique de la chaleur aux phénomènes
mo-électriques, qui, se rattachant aux notions les plus
ccendantes de mécanique rationnelle et d'analyse, ne peut
ver place dans un ouvrage du genre de celui-ci. Nous nous

bornerons à signaler comme conséquence de ce travail l'analogie qu'établit son auteur entre une chaîne thermique et une machine mue par la chaleur. Partant du fait expérimental que d'une part, dans un couple thermo-électrique de bismuth et d'antimoine, le courant passe au point de contact chauffé du bismuth à l'antimoine, et au point de contact refroidi de l'antimoine au bismuth, et que d'autre part un courant extérieur qui traverse le couple anéantit de la chaleur dans la première direction et en produit dans la seconde, il en conclut que le point de contact maintenu chaud correspond à la partie chauffée de la machine calorique, et le point de contact maintenu froid au condensateur. Puis appliquant à ces considérations la loi de Carnot, il en déduit la correspondance entre les états électriques et les variations de température.

Il nous paraît qu'on peut comparer ce qui a lieu dans ce cas avec ce qui se passe avec un fluide élastique. Si on le chauffe il produit par son augmentation d'élasticité un travail mécanique; mais s'il produit ce travail mécanique par sa simple dilatation, il se refroidit en absorbant une quantité de chaleur équivalente à ce travail. De même, si on chauffe le point de contact des deux métaux, il se produit un travail mécanique moléculaire qui détermine un courant; mais si on produit ce même courant autrement qu'en chauffant, cette production détermine un travail moléculaire qui absorbe de la chaleur et par conséquent occasionne un refroidissement. L'inverse serait également vrai et il y aurait des conséquences intéressantes à tirer de la comparaison des deux cas, de celui où il y a réchauffement et de celui où il y a refroidissement, quant à la nature du travail qui accompagne le passage du courant.

Clausius remarque encore que les effets thermo-électriques n'ont pas lieu seulement aux points de contact des diverses substances, mais qu'un courant électrique produit des effets thermiques différents dans un même métal, suivant qu'il marche du chaud au froid ou du froid au chaud; ce qui revient à dire que dans l'intérieur d'un même métal dont les diverses portions se trouvent être à des températures diffé-

s, la chaleur a la tendance de pousser l'électricité dans direction déterminée, aussi bien que dans deux métaux en st. Ajoutons qu'il considère bien, comme nous l'avons ous-même, la manifestation de l'état électrique dans l'in- r d'un même métal, non comme un effet direct, mais ment comme un effet secondaire de la différence de tem- ure, c'est-à-dire comme le résultat d'un changement pro- par la chaleur dans l'état moléculaire. Il rappelle en r de cette opinion et les expériences de Magnus et celles démontrent que les courants thermo-électriques qu'on mine dans un barreau d'un seul métal sont dus à des dif- ces de cristallisation dans son intérieur.

l'appui de cette manière de voir, nous citerons encore homson, qui s'est beaucoup occupé de l'application de la e mécanique de la chaleur aux phénomènes thermo-électri- que présentent les métaux cristallisés, et qui est arrivé, par paraison avec ce qui se passe dans d'autres phénomènes, clure que la pression ou la tension doivent développer dans masse métallique homogène les propriétés thermo-électri- des cristaux. Ainsi il a trouvé qu'un fil de cuivre tendu au d'un poids présente, par rapport au même fil non tendu, ations thermo-électriques exactement semblables à celles nberg a établies entre un barreau taillé dans un cristal muth ou d'antimoine perpendiculairement à l'axe, et un taillé dans le sens de cet axe. Si donc dans une partie fait, le fil de cuivre est tendu par un poids considérable, res parties du fil restant à leur état naturel, et si l'une trémités de la partie tendue est échauffée, il s'établit un t de la partie tendue à la partie non tendue à travers le le jonction chauffé; et si le fil est tendu et détendu alter- ment des deux côtés de la partie échauffée, le courant est é instantanément à chacune de ces alternatives de ten-

meure donc évident pour nous, que la propagation de la r n'est qu'un moyen de déterminer des changements molé- s qui donnent naissance aux manifestations électriques, e la propagation de l'électricité n'est à son tour qu'un

moyen de produire des perturbations dans l'état des particules, qui entraînent une rupture dans l'équilibre de la température. Nous essayerons plus loin de pénétrer plus avant dans la nature de ces changements et de ces perturbations qui probablement ne sont, comme nous l'avons déjà dit, que des modifications apportées au mouvement rotatoire naturel et à la position relative des atomes, d'où découlent également les phénomènes que présentent les corps tant sous les rapports électrique et magnétique, que sous le rapport chimique.

Liste des principaux travaux relatifs aux sujets traités dans ce chapitre :

Becquerel. — Électricité de la tourmaline, etc. — *Ann. de ch. et de phys.* T. XXXVII, p. 5 et 355. — Courants thermo-électriques. — *Idem.* T. XLIII, p. 131, et t. XXXI, p. 371 ; t. XXXVII, p. 328, et t. XLI, p. 353.

Brewster. — Minéraux pyro-électriques. — *Ann. de ch. et de phys.* T. XXVIII, p. 161.

Hauy. — *Idem.* — *Ann. de ch. et de phys.* T. I, p. 447.

Riess et *Rose.* — Pyro-électricité des minéraux. — *Arch. de l'électricité.* T. III, p. 585.

Forbes. — *Idem.* — *Trans. of the royal Society of Edinburgh.* T. XIII, (1832).

Seebeck. — Courants thermo-électriques. — *Ann. de ch. et de phys.* T. XXII, p. 199.

Yelin. — *Idem.* — *Bibl. univ.* (1823). T. XXIII, p. 38, et t. XXIV, p 253.

Sturgeon. — *Idem.* — *Bibl. univ.* (1831). T. XLVII, p. 351, et t. XLVIII, p. 1.

Cumming. — Rotation thermo-électrique. — *Bibl. univ.* (1824). T. XXV, p. 108.

Matteucci. — Expériences diverses thermo-électriques. — *Bibl. univ.* (*Nouvelle série*). T. XII, p. 211 ; t. XIII, p. 199 ; t. XV, p. 187 ; t. XVIII, p. 353 ; et t. XVIII, p. 410. — *Arch. de l'électricité.* T. II, p. 227, et t. III, p. 666. — *Comptes rendus de l'Acad. des sciences* (1855). T. XL, p. 541.

Vorsselmann de Heer. — Courants thermo-électriques du mercure. — *Arch. de l'Électricité.* T. I, p. 581.

Gaugain. — Courants thermo-électriques. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*). T. XXIII, p. 69.

Swanberg. — Influence de la cristallisation sur les courants thermo-électriques. — *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, du 19 août 1850, et *Arch. des sc. phys.* T. XV, p. 128.

Frantz. — *Idem.* — *Ann. der physik.* T. LXXXIII, p. 374, et *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*). T. XVIII, p. 297.

Mousson. — Influence de l'état moléculaire sur les courants thermo-électriques. — *Arch. de l'électricité.* T. IV, p. 5.

[illegible]. — *Idem.* — *Ann. de ch. et de phys.* (*Nouvelle série*). T. XXXIV, p. 105.
[illegible]rier et Oersted. — Pile thermo-électrique. — *Ann. de ch. et de phys.* [illegible], p. 201 et 373.
[illegible]illet. — Théorie de la pile thermo-électrique et mesure des températures. [illegible]té de physique. — *Comptes rendus de l'Acad. des sciences.* T. III, p. 782, [illegible], p. 785.
[illegible]. — Pile thermo-électrique à grande résistance. — *Bibl. univ.* (1839). [illegible], p. 337.
[illegible]ndorff. — *Idem.* — *Bibl. univ.* (*Nouvelle série*, 1840). T. XXX, [illegible]. — *Ann. de ch. et de phys.* T. LXXV, p. 333.
[illegible]. — Courants thermo-électriques. — *Bibl. univ.* (1828). T. XXXVII, [illegible]. — Application de la pile thermo-électrique à la mesure des tempéra- [illegible]. — *Bibl. univ.* (1830). T. XLIV, p. 225, et t. LVII (1834), p. 1.
[illegible]. — *Idem.* — *Ann. de ch. et de phys.* T. XLVIII, p. 198, et t. LIII, [illegible]
[illegible]ault. — *Idem.* — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*). T. XI, p. 265, et [illegible]res de l'Acad. des sciences de Paris.
[illegible]guerel et Breschet. — *Idem.* — *Ann. de ch. et de phys.* T. LIX, p. 113.
[illegible]ier. — Pince thermo-électrique et froid produit par le courant électrique. [illegible] ch. et de phys.* T. LVI, p. 371, et t. LXXI, p. 225.
[illegible]mann. — Diathermansie électrique. — *Arch. de l'électricité.* T. I, p. 74.
[illegible]mheim. — Rapports entre les phénomènes électro-caloriflques et [illegible]-électriques. — *Ann. der physik.* t. XCI.
[illegible]ins. — Application de la théorie mécanique de la chaleur aux phéno- [illegible] thermo-électriques. — *Ann. der physik.* T. XC.
[illegible]mann. — Considérations sur les courants thermo-électriques. — *Arch. des* [illegible]. (*Bibl. univ.*). T. XXVII, p. 51, et p. 347.

CHAPITRE II.

ÉLECTRICITÉ PRODUITE PAR LES ACTIONS MÉCANIQUES.

§ 1. Développement de l'électricité par le frottement des corps solides isolants.

Nous avons déjà vu que le frottement était de toutes les manières de développer l'électricité celle qui est la plus anciennement connue. Si dans bien des cas elle semble être la source la plus énergique, cela tient à ce qu'il ne faut pas confondre l'électricité *perçue* avec l'électricité *produite*. Cette remarque s'applique également à toutes les sources d'électricité. En effet, tandis que la production de l'électricité est un effet instantané, sa perception exige un temps comparativement énorme, surtout quand il s'agit d'électricité statique. Ainsi, par exemple, après avoir frotté un corps, il faut le mettre en communication avec l'instrument destiné à accuser l'électricité qu'il a acquise, et pendant l'intervalle de temps qui sépare les deux opérations, bien des circonstances peuvent diminuer notablement et même faire disparaître entièrement les signes électriques; telles sont l'imperfection dans la faculté isolante du corps et des supports, le contact des milieux ambiants et de l'air en particulier. Et ce n'est pas dans le frottement des corps non conducteurs que la différence entre l'électricité perçue et l'électricité produite est la plus grande; nous verrons au contraire que si l'on voulait, par exemple, conclure des signes électriques manifestés par le frottement de deux corps, comparés à ceux qui sont produits dans bien des cas par les actions chimiques, la supériorité du premier mode d'action sur le second cas dans le développement de l'électricité, on risquerait de tomber dans de graves erreurs. Une autre remarque impor-

et qui s'applique également à toutes les autres électricité, mais dont l'importance est plus grande git des actions mécaniques où souvent on n'aper- seule des électricités, c'est que jamais l'un des ctriques n'est dégagé sans que l'autre ne le soit en même proportion. Cette loi énoncée pour la s par Wilke est générale, et les exceptions appa- e présente cèdent devant une observation plus faits. Ainsi Bergmann avait remarqué que deux frottées l'une contre l'autre se constituaient toutes s un état positif, et Faraday, que deux bandes de ées l'une contre l'autre en croix es constituaient ans ces expériences, il y a évidemment disparition ement d'une couche superficielle très-mince des nces en contact, qui emporte avec elle l'électricité elle qui reste sur les corps. Du reste, l'exception ont nous venons de parler ne s'est jamais présentée rottement de deux corps semblables.

maintenant l'étude des phénomènes électriques guent le frottement. Il faut dans ce but distinguer de frottement, celui que nous pouvons appeler de ans lequel, comme dans le cas des deux cylindres r, un même point d'une surface n'est touché que de l'autre sans venir en contact avec un second, ent de *glissement* dans lequel au contraire chaque surface est successivement en contact avec plu- de l'autre. C'est de ce dernier qu'il sera question is que nous ne dirons pas le contraire. Lorsque rfaces qu'on frotte l'une contre l'autre sont iné- appelons *frottée* la plus grande et *frottante* la plus celle par conséquent dont chaque point est le plus encore le frottement *central*, qui est celui qu'on ettant deux disques de même grandeur en rota- contraire autour d'un axe commun en ayant soin en contact. Quand les corps frottés sont deux mor- même substance telle que la résine, le verre, la ée, le velours, le liége, etc., on remarque que,

sauf les rares exceptions que nous avons signalées plus haut, l'un des morceaux prend l'électricité positive et l'autre la négative; c'est ce qu'on constate facilement au moyen de l'électroscope à piles sèches. Bergmann a observé que quand on frotte deux bandes de verre de manière que toutes les parties de l'une passent seulement sur une partie de l'autre, la frottée est négative et la frottante positive; c'est l'inverse si la bande frottée est chaude. Deux lames de verre de même grandeur tenues par des manches et frottées l'une contre l'autre de haut en bas, présentent un état identique; dans chacune la moitié supérieure est positive et la moitié inférieure négative. Deux rubans frottés l'un contre l'autre, transversalement comme les deux lames, sont le frotteur négatif et le frotté positif; c'est l'inverse du verre; un ruban usé frotté contre un ruban neuf est également négatif. La chaleur tend à donner au ruban auquel on l'applique la propriété négative. Il est probable que c'est au plus grand réchauffement que le ruban frotteur doit d'être négatif. Une chose assez remarquable est que si l'on recouvre un cylindre de verre d'une substance, et qu'on le frotte avec une substance semblable, c'est toujours, quelles que soient les circonstances qui accompagnent le frottement, celle qui recouvre le cylindre qui est positive.

Nous n'insisterons pas sur les effets de frottement dans le cas où les substances frottées sont semblables, mais diversement colorées, car au fond les substances ne sont plus exactement semblables, puisqu'elles renferment un principe colorant différent; nous passerons donc immédiatement au cas du frottement opéré entre les substances dissemblables. Nous ne pouvons mieux faire que de rapporter sur ce point les expériences intéressantes de Coulomb, telles que M. Biot, qui les a tirées d'un manuscrit de cet habile physicien, les a consignées dans son traité de physique expérimentale et mathématique. Une bande de papier, dans son état naturel, étant chargée de l'humidité de l'air, ne prend par le frottement qu'un faible degré d'électricité. Mais si on la fait sécher et chauffer, contre quelque corps qu'on la frotte ensuite, elle donnera des signes sensibles d'électricité. Une bande de papier chauffée et frottée

ire une étoffe de laine blanche prend toujours l'électricité
ative. Cette même bande frottée contre du métal prend
jours l'électricité négative, à moins que le métal n'ait un
nd degré de poli. Dans ce cas, elle donne quelquefois des
nes d'électricité positive très-faibles. La bande de papier
nt séchée et chauffée, si on la frotte contre une étoffe de
blanche, elle donne des signes d'électricité négative; mais
que la chaleur est passée, elle donne le plus souvent des
nes d'électricité positive très-faibles. La bande de papier
uffée et frottée contre une étoffe de soie noire, *neuve* et de
teint, donne des signes d'électricité positive. La bande de
ier chauffée et frottée contre une étoffe noire *demi-usée*
nd, lorsqu'elle est encore chaude, une électricité néga-
; quelques instants après, frottée de nouveau, elle ne donne
un signe d'électricité; mais frottée quelques instants encore
is, elle donne des signes d'électricité positive. Un ruban de
blanche, chauffé et frotté contre du métal, donne toujours
signes d'électricité négative. En le laissant refroidir et le
tant de nouveau, si le métal contre lequel on le frotte
st pas très-poli, il continuera à donner des signes d'élec-
ité négative; mais si le métal a un très-grand degré de
li, il donnera des signes d'électricité positive très-faibles.
ui, par exemple, notre ruban refroidi, étant frotté contre
papier doré ou argenté qui ait un très-grand poli, acquerra
jours l'électricité positive; mais si le ruban est échauffé, il
nera toujours des signes d'électricité négative. Il donnera
lement toujours des signes d'électricité négative, soit qu'il
chauffé ou non, lorsqu'on le frottera contre l'arête d'un
, ou contre un corps métallique qui n'aura pas un grand
ré de poli, ou même contre un morceau de clinquant; mais
n le frotte contre une partie du vase qui soit très polie,
rendra alors l'électricité positive. Un ruban noir, chauffé
mon, mais soyeux et de bon teint, étant frotté contre un
al poli ou dépoli, donne toujours des signes d'électricité
ative. Lorsque le ruban est peu soyeux, que la teinture est
le, il donne quelquefois des signes d'électricité positive
ns les mêmes cas que le ruban blanc. Un ruban de soie

blanche chauffé ou non, et frotté contre une étoffe noire et d'un bon teint, donne toujours des signes d'électricité positive; mais si l'étoffe noire contre laquelle on frotte le ruban blanc est usée, et que le ruban blanc soit chauffé, il donnera des signes d'électricité négative, et en se refroidissant, il donnera ensuite des signes d'électricité positive. Une étoffe de soie, agitée dans l'air avec un mouvement rapide, prend toujours l'électricité négative; en sorte que le frottement de l'air contre la soie donne à l'air une électricité positive. Un ruban blanc de laine produit à peu près les mêmes phénomènes électriques qu'un ruban de soie et une bande de papier; si on le frotte sans le faire chauffer, ou après qu'il est refroidi, contre une surface métallique très-polie, comme le papier doré ou argenté, ou même contre le côté d'un vase de métal très-poli, il donnera des signes d'électricité positive; si l'on fait chauffer le ruban de laine avant de le frotter, il donnera dans tous les cas des signes d'électricité négative; il donnera les mêmes signes d'électricité négative, si on le frotte sans le faire chauffer contre une surface métallique qui n'aurait pas un très-grand degré de poli.

Un ruban de soie, une bande de papier, un ruban de laine, frottés contre une peau garnie de son poil, telle qu'une queue de renard ou une peau de chat bien sèche, prennent toujours l'électricité négative, et dans un plus grand degré que contre toute autre espèce de frottoir. L'on sait que les peaux garnies de leurs poils, frottées du côté du poil sur un corps conducteur, prennent toujours l'électricité positive.

Toutes les particularités de ces phénomènes semblent pouvoir se ramener à un principe général que voici :

Lorsque les surfaces de deux corps sont frottées ensemble, celle dont les particules intégrantes s'écartent le moins les unes des autres, et font des excursions moindres autour de leurs positions naturelles d'équilibre, paraît, par cela même, plus disposée à prendre l'électricité positive; cette tendance augmente si la surface éprouve une compression passagère. Réciproquement celle des deux surfaces, dont les particules se trouvent plus écartées par la rudesse de l'autre ou par toute autre cause

quelconque, est, par cela même, plus disposée à prendre l'électricité négative. Cette tendance augmente si la surface éprouve une véritable dilatation. Plus cette opposition de circonstances est forte, plus le développement de l'électricité est énergique sur les deux surfaces. Il s'affaiblit à mesure que leur état devient plus semblable. Une égalité parfaite le rendrait nul, si elle pouvait exister.

Ainsi, lorsqu'une substance animale ou végétale solide et sèche est frottée contre une surface métallique qui a de la rugosité, elle donne des signes d'électricité négative; c'est le cas où ces molécules sont écartées. Lorsqu'elle est frottée contre un métal très-poli qui altère peu sa surface, ou dont l'effet se borne à la comprimer par parties, sans écarter individuellement les particules qui la composent, elle ne donne aucun signe d'électricité, ou elle donne des signes d'électricité positive. La chaleur dilatant les pores des corps, agit sur leur surface comme ferait un frottoir plus rude. Elle la dispose donc à prendre l'électricité négative.

Lorsqu'on frotte les poils d'une peau de chat contre une surface métallique polie ou dépolie, ils ne peuvent que céder à ce choc et se refouler les uns sur les autres; mais ils se compriment ainsi, tout d'une pièce, sans aucune vibration de leurs molécules. Ils sont donc disposés d'une manière éminemment propre pour prendre l'électricité positive, comme en effet on voit qu'ils l'acquièrent, puisqu'après le frottement le métal se trouve toujours avoir l'électricité négative. Mais employez ces mêmes poils à former le tissu d'une étoffe, ce qui exigera qu'ils soient foulés, comprimés et serrés sur eux-mêmes; alors si vous les frottez contre une surface métallique dépolie, ils n'en seront pas seulement pressés et comprimés comme auparavant; ils seront au contraire séparés et déchirés par les aspérités de la surface. Ainsi ils devront prendre l'électricité négative, comme en effet on voit aussi qu'ils la prennent, excepté dans le cas où la surface métallique contre laquelle on les frotte a un certain degré de poli.

En général, lorsque l'un des corps frottés est un tissu de fibres animales ou végétales serrées les unes sur les autres, tel

qu'un ruban de soie, une étoffe de laine ou un morceau
pier sec, le meilleur frottoir doit être celui sur lequel c
ne peuvent produire qu'une compression générale e
gère. Aussi l'expérience apprend-elle que, dans ce c
n'est préférable à une peau garnie de son poil.

Mais lorsque des substances animales ou végétales,
l'une contre l'autre, se dilatent toutes les deux dans
ment, l'espèce d'électricité que prend chacune d'elle
de l'élargissement plus ou moins considérable que
reçoivent; et alors les us légères modifications, dans
l'une ou de l'autre sur peuvent déterminer des
opposés. Par exemple, lo 'on frotte une étoffe de soi
contre un morceau de papier sec, la soie prend ordin
l'électricité négative. Elle paraît donc alors avoir plu
dance pour cette espèce d'électricité. Mais si l'on c
par ouvrir les pores du papier en le chauffant, cette
tion le rend plus apte à son tour à prendre l'électric
tive, et la soie frottée contre lui devient positive. Cett
que la chaleur avait exaltée, diminue à mesure que
se refroidit et que ses pores se resserrent. Il vient un
où elle est seulement égale à celle de la soie. A cett
le frottement de ces deux corps ne produit aucun sig
tricité sensible. Passé cet instant, la bande de papi
nuant à se refroidir, et ses pores à se resserrer, sa te
prendre l'électricité négative s'affaiblit toujours, ta
celle de la soie blanche reste la même. Alors cette der
tant plus contre-balancée par l'état de la bande de
arrivera souvent que la soie prendra une électricité
et donnera par conséquent au papier une électricité

Les mêmes considérations peuvent s'appliquer à u
de soie blanche frottée contre une étoffe de soie noire.
la teinture noire donne de la rudesse à la surface des
soie ou de laine, de manière que, dans le frottement, le
se trouvent plus écartés que ceux des étoffes qui ne
teintes, soit que la réunion des parties colorantes av
augmente, sous le même degré de frottement et de di
la tendance à prendre l'électricité négative, il est de fai

le de soie noire *neuve* de forte teinte, étant frottée contre un
m de soie blanche, prend toujours cette espèce d'électri-
. Mais lorsque l'étoffe noire est usée et sa couleur affaiblie,
on dilate les pores du ruban blanc par la chaleur, il ac-
rt à son tour, pour l'électricité négative, une plus grande
lance que l'étoffe noire, et par conséquent il la rend posi-
. Cette disposition, comme on doit s'y attendre, s'évanouit
la cause accidentelle qui la produisait, et le ruban blanc
sidi acquiert de nouveau l'électricité positive. La teinture
e produit sur la laine le même effet que sur la soie. Un
m blanc sec, frotté contre une étoffe de laine blanche, donne
ours des signes d'électricité négative, mais contre une
le de laine teinte en noir, il donne des signes d'électricité
tive.
es bois bien secs sont tous négatifs quand ils sont frottés
e de la cire; mais quand ils sont frottés les uns contre les
res, ce sont en général les plus denses qui sont négatifs, et
plus légers positifs; ainsi l'ébène est négatif avec tous les
res bois.
Parmi les substances non conductrices, celle dont l'étude au
t de vue de l'électricité qu'y développe le frottement est la
importante et a été l'objet de plus de travaux, est sans
redit le verre qui présente sous ce rapport des particula-
remarquables tenant aux variations nombreuses de l'état
a surface et à son peu d'homogénéité.
es propriétés électriques du verre sont en effet intimement
avec l'état de sa surface; quand cette surface est fraîche,
-à-dire que le verre a été récemment fabriqué, il n'est pas
ment électrique, ce qui fait qu'il n'est pas propre à la con-
ction des machines électriques. Cette absence de vertu
trique tient à sa conductibilité, mais elles disparaissent
e et l'autre avec le temps. Le verre poli et ancien est po-
f avec la plupart des corps, tandis que le verre mat ou dé-
i est négatif quand on le frotte avec la laine, les plumes, le
n, le papier et la main, corps avec lesquels le verre poli est
-même négatif. Mais le verre mat est positif comme le verre
li avec la cire, le soufre, les métaux, etc. Il va sans dire que

lorsqu'on frotte l'un contre l'autre le verre poli et le verr
poli, le premier est positif et le second négatif. Quoiqu'e
néral l'état variable de la surface du verre puisse être rec
par des différences dans son pouvoir conducteur, il est c
dant des cas où il n'en est pas ainsi. Il existe, suivant He
des différences dans le pouvoir électrique de la surface du
qui ne peuvent ni être aperçues à la vue, ni se démontr
un changement dans le pouvoir conducteur. Tel est le c
deux moitiés d'une tige de verre, dont l'une a été expos
flamme d'une lampe d'alcool et l'autre est restée intacte. L
tié qui a été chauffée se trouve être fortement négative qu
la frotte avec de la cire ou avec du cuir, tandis que l'au
positive. Un frottement très-prolongé ou très-vif, l'imm
dans l'alcool ou dans une solution de potasse, restitue a
qui l'avait perdue sa vertu positive; toutefois, si on ne l
subir aucune opération de ce genre, il peut conserver p
des jours et des semaines sa propriété négative. Le cri
roche éprouve dans les mêmes circonstances la même
tion que le verre dans ses propriétés électriques.

On peut même rendre le verre susceptible de prendre
tricité négative quand on le frotte, en le plongeant d
acide et en le laissant sécher après l'avoir lavé préalab
dans l'eau distillée. L'immersion dans un alcali ne prod
le même effet.

Il est évident que l'action de la flamme consiste à déte
une altération dans l'état de la surface, puisque les n
mécaniques détruisent l'effet de cette action. Ce n'est po
résultat de l'action directe de la chaleur, car des tiges de
qu'on expose à la même température, en ayant soin
enfermer dans des tubes de métal de manière à éviter q
soient en contact immédiat avec la flamme, n'éprouvent a
modification dans leurs propriétés électriques. Ce n'est p
plus un effet de l'action qu'exerceraient sur le verre le
duits de la combustion, tels, en particulier, que la v
d'eau ou l'acide carbonique; car en laissant agir à une
température ces produits tout formés, on n'obtient po
même résultat. Il est donc probable que c'est dans l'acte

ur formation à la surface du verre qu'ils agissent sur cette
ce.
reste, ce n'est pas seulement dans ses propriétés élec-
es que le verre éprouve une alté i r la modification
surface. Lœvell et Liebig ont ré qu'un bâton de
peut perdre par son récha ent la faculté qu'il pos-
dans son état naturel de faire c alliser instantanément
dissolution concentrée de sulfa (soude dans laquelle
plonge. Cette même dissolu n cristallise immédiatement
on la met en contact avec partie du bâton de verre
'a pas été chauffée. La partie du bâton qui était devenue
ive peut rester plusieurs jours dans cet état; l'immersion
l'eau suivie de son desséchement dans l'air ne suffit pas
lui rendre son activité; il faut pour cela qu'il soit exposé
que temps à l'air libre.
mi les substances dont on a étudié avec soin l'électricité
ppée par le frottement, nous citerons un grand nombre
inéraux sur lesquels Hauy a fait de nombreuses expé-
es. Ce savant minéralogiste en frottait chaque échantillon
une étoffe de laine pour déterminer s'il devenait positif
gatif par ce frottement, et il crut trouver que le carac-
lectrique propre à chacune des classes dans lesquelles il
ait les minéraux sous ce rapport se rattachait à des pro-
s physiques communes à toutes les espèces comprises
la même classe. Cependant il reconnut que bien des cir-
nces, telles que la transparence et l'aspérité de la sur-
pportent des modifications dans le caractère électrique de
une espèce minérale. Ces variations tiennent, en général,
que l'affaiblissement de la transparence est dû, soit au
ge d'une matière hétérogène interposée accidentellement
la substance, soit à un dérangement de structure qui
nne un aspect nébuleux; modifications qui entraînent,
bien que la perte du poli de la surface, une diminution
la faculté isolante du corps. Ainsi, par exemple, la va-
de chaux carbonatée, dite *spath d'Islande*, est transpa-
, très-isolante et positive, tandis que la transparence dis-
en même temps que la faculté isolante et l'électricité

positive dans la variété *saccharoïde* (marbre statuaire), qui est négative. Ainsi, même le quartz et la topaze, qui, à l'état de cristaux limpides, sont isolants et positifs, deviennent conducteurs et négatifs lorsque la surface est terne et raboteuse; mais quand on rend à ces fragments peu à peu le poli, ils reprennent par degrés les états intermédiaires par lesquels ils avaient passé, et finissent par recouvrer entièrement leurs propriétés primitives entre les mains du lapidaire. L'état des surfaces a une telle influence sur la nature de l'électricité dégagée dans le frottement des corps mauvais conducteurs, que Hauy a trouvé une substance minérale cristallisée qu'il a nommée *disthène*, qui prend, avec le même frottoir, l'électricité positive sur certaines faces et la négative sur d'autres, sans qu'on puisse découvrir de différences apparentes entre elles.

Avant de dresser la série des corps rangés dans l'ordre de la nature de l'électricité qu'ils dégagent en étant frottés les uns contre les autres, nous devons nous occuper du cas où l'un des corps frottés étant toujours un conducteur imparfait, l'autre est bon conducteur, tel qu'un métal. Cavallo, Wilson, Hauy ont fait un grand nombre de recherches sur ce point particulier. Cavallo avait trouvé que presque tous les métaux deviennent négatifs en étant frottés avec la plupart des corps, même avec la cire d'Espagne. Plus tard, Faraday avait confirmé ce résultat sur le fer, le cuivre, le laiton, l'argent et le platine; sur treize substances, avec lesquelles il les avait frottés, il n'avait trouvé que le soufre qui les rendît positifs. Hauy avait observé que, frottés avec de la cire, l'argent, le plomb, le bismuth, le zinc et le laiton sont positifs, tandis que le platine, le palladium, l'or, le nickel, le fer, l'étain, l'arsenic et l'antimoine sont négatifs.

La divergence qu'on remarque entre ces différents résultats tient à ce que, lorsqu'un des corps frottés est très-dur par rapport à l'autre, comme un métal par rapport à de la cire, il arrive souvent que le plus mou est entamé par le plus dur, et que ce dernier accuse à l'électroscope non sa propre électricité, mais celle de la couche mince de la substance qu'il enlève. J'ai signalé cette cause d'erreur en cherchant à en tenir compte

uer les anomalies que présente l'électricité déve-
les métaux frottés avec des conducteurs imparfaits,
i à démontrer ainsi quelle est bien la nature véri-
te électricité.
le placer un morceau de métal sur le plateau d'un
à feuilles d'or, et de le frotter délicatement avec le
déterminer une divergence considérable des feuilles
oir même besoin du secours du condensateur : il faut
que les doigts soient très-secs pour que l'expérience
en ; on a soin de tenir avec un tube de verre bien
orceau de métal pour qu'il ne glisse pas quand on
es métaux frottés ne prennent pas tous la même
lans cette opération ; ainsi l'antimoine est négatif
h positif. Si l'on se sert comme corps frottants de
la corne, du liége et de diverses espèces de bois, on
le rhodium, le platine, le palladium, l'or, le tellure,
le nichel acquièrent l'électricité négative, tandis
, le cuivre, le laiton et l'étain, qui sont en général
fs, se montrent quelquefois positifs, surtout l'étain ;
quoique le plus fortement négatif de tous, est ce-
lquefois positif ; le fer et le zinc sont tantôt posi-
négatifs ; enfin le plomb et le bismuth sont cons-
sitifs. Mais si l'on a soin de frotter le métal sur une
ans un air bien sec avec du bois très-desséché et
, il prend toujours l'électricité négative ; par contre,
rface frottée est grande et que le frottoir est pro-
onte son étendue, le métal devient en général po-
t si on le frotte avec du liége. L'élévation de tem-
l'humidité favorisent dans les métaux facilement
dégagement de l'électricité positive. Il est évident
malies tiennent à ce que dans l'air, et surtout dans
et chaud, la surface de la plupart des métaux se
me légère couche d'oxyde que le frottoir enlève, ce
ce n'est plus entre la substance du frottoir (doigt,
et le métal, mais bien entre la couche d'oxyde qui
frottoir et le métal, que le frottement a lieu ; de
ans ce cas, le métal prend l'électricité positive, son

oxyde se chargeant de la négative. Mais si on opère sur une partie de la surface bien décapée, et d'où il est facile d'enlever immédiatement la couche d'oxyde, comme une arête vive, alors le métal prend toujours, quelle que soit sa nature, l'électricité négative. Avec le liége et le caoutchouc, on obtient plus facilement l'électricité positive sur le métal qu'avec le bois, parce que le frottement étant plus doux, la couche d'oxyde est enlevée plus également, et reste mieux adhérente à la surface du corps frottant.

Le développement de l'électricité par le frottement des corps non conducteurs et des substances métalliques a été utilisé dans l'emploi d'un amalgame dont on recouvre les coussins des machines électriques destinés à servir de frottoirs au verre. Ces amalgames sont des amalgames d'étain, de zinc, d'étain et de zinc à la fois; quelquefois on emploie des amalgames encore plus compliqués, et même une combinaison métallique telle que l'or musif (deuto-sulfure d'étain). Wollaston avait cru que l'influence considérable que la présence de ces composés métalliques exerce sur le dégagement de l'électricité était due à une action chimique, c'est-à-dire à l'oxydation qu'éprouvent ces composés dans l'air atmosphérique. A l'appui de cette opinion, il avait cité le fait qu'en remplaçant autour du plateau et des frottoirs de la machine électrique l'air atmosphérique par le gaz acide carbonique, il n'y a plus d'électricité possible. Mais Gay-Lussac remarqua que cette absence d'électricité était due à l'eau hygrométrique dont il est très-difficile de dépouiller le gaz acide carbonique, et il réussit à obtenir de l'électricité avec des amalgames très-oxydables dans une atmosphère d'acide carbonique bien desséchée.

M. Péclet a repris ces expériences en parlant du principe que le gaz peut agir de deux manières, quand on développe de l'électricité par le frottement, ou comme intervenant dans la production de cette électricité, ou comme corps plus ou moins conducteur. Après avoir constaté par des expériences délicates faites au moyen de la balance de Coulomb, d'après un procédé analogue à celui que nous avons déjà décrit[1], l'égalité des facultés con-

[1] Tome II, pages 84 et suiv.

'air et de l'acide carbonique bien desséchés, il a dis-
reil électrique, composé d'un cylindre de verre et
nduits d'or musif, de façon qu'il pût être en entier
ne cloche munie d'une boîte à cuir traversée par une
ue qui pouvait communiquer, au moyen d'un engre-
ndre de verre, le mouvement de rotation qu'on lui
térieurement à l'aide d'une manivelle. En opérant
e la cloche préalablement desséché pendant douze
u chlorure de calcium, puis sur de l'acide carbo-
uit à la place de l'air dans la cloche, après avoir
ment desséché, il a trouvé que les indications d'un
intérieur, qui communiquait par un fil de cuivre
rs la cloche avec un peigne métallique placé vis-
près du cylindre de verre, étaient exactement les
les deux gaz, pourvu qu'ils fussent également
on pouvait objecter qu'il restait dans ces expé-
etite quantité d'air mélangée à l'acide carbonique,
péré successivement sur de l'air, sur de l'hydro-
le l'acide carbonique, en ayant soin, pour ces deux
, de ne faire d'expérience qu'après que la cloche
re et remplie successivement du même gaz six fois,
on pouvait être bien certain de la pureté du gaz.
ont toujours été les mêmes. Ainsi, il demeure
que, dans la production de l'électricité par le frot-
tion de l'air sur les enduits plus ou moins oxyda-
toirs n'a aucune influence.
substances éminemment électriques, nous devons
le coton-poudre de Schoenbein, qui, dur et fila-
t un isolant parfait et négatif avec tous les corps
collodium, qu'on obtient en une pellicule mince
aporer une dissolution de coton-poudre dans l'é-
que qu'on a étendue sur une plaque de verre, est
que au plus haut degré, et négatif, sauf avec le
e, avec lequel il est positif. Si l'on plonge, suivant
e Pelouze, du papier fin non collé dans un mélange
urique et d'acide nitrique fumant, qu'on le lave
eine eau, il prend une apparence jaunâtre et trans-

lucide semblable à du parchemin et acquiert des p
fortement électriques ; car il suffit, lorsque plusieur
du papier ainsi préparé sont superposées, de frotter
rieure avec la main pour qu'elles restent adhérentes
aux autres quand on soulève la première, et pour qu'
parant elles donnent de vives étincelles. Ce papier
avec le coton-poudre et le collodium, et il est nég
toutes les autres substances. Sa puissance électrique
sidérable, qu'on peut en tirer de fortes étincelles acco
d'un dégagement d'ozone. M. Schoenbein, qui a rem
premier, les propriétés si fortement électriques de
avait proposé de l'employer à la construction de mach
triques, qui, par conséquent, auraient été sans verre.
on a remarqué que, dans la fabrication du papier or
y a un dégagement continu d'étincelles électriques
pour le faire sécher, on fait glisser le papier encore
long des cylindres métalliques chauffés intérieureme
vapeur.

M. Colladon a remarqué également que, dans les fil
coton, l'opération à laquelle sont soumis les faisceaux
qu'on comprime, qu'on étire et qu'on tord pour en
fils, en les faisant glisser sur des surfaces métalliqu
guident, dégage beaucoup d'électricité. Les fils de
chargent d'électricité négative et les métiers prenne
tive. Il en résulte, lorsque l'air est sec, que les mé
côté, et les filaments de coton de l'autre, gardent le
cité, que les arêtes et les points culminants des mét
sent les petits filaments de coton qui voltigent dans la
ce qui dérange l'opération du filage, laquelle est aussi
par l'état électrique des filaments de coton, qui, en f
leur séparation, leur désagrégation, occasionne aussi
ture plus fréquente des fils. On a encore observé à N
dans des maisons construites avec des matériaux très-
le simple frottement du cuir des souliers contre les
laine qui recouvrent les planchers sur lesquels mar
personne dégage assez d'électricité pour que cette per
soit chargée d'une manière incommode, vu que dès qu

be sa main et sa figure d'un corps conducteur, il s'en ppe une étincelle souvent fort désagréable.

ous devrions, avant de poursuivre l'étude de l'électricité gée par le frottement, donner ici la série des corps classés ès la nature de l'électricité qu'ils acquièrent en étant ès successivement les uns avec les autres; mais cette série ifficile à établir, à cause de la difficulté de tenir compte de s les circonstances qui influent sur la nature de l'électrique prend chaque corps. Voici toutefois un tableau assez t des principales substances disposées les unes à la suite utres, dans un ordre tel que chacune est positive avec celle uit et négative avec celle qui précède :

eau de chat, diamant, flanelle, ivoire, cristal de roche, laine, t, coton, toile de lin, soie blanche, la main sèche, bois, cire à ter, colophane, ambre, soufre, caoutchouc, gutta-percha[1], *r préparé, collodium, coton-poudre.*

analyse que nous venons de faire des effets électriques dus au ement démontre clairement que ces effets sont bien dus exement aux mouvements moléculaires que détermine cette n mécanique; mais il importe d'en préciser un peu mieux ture et de rechercher les circonstances qui peuvent la renlus ou moins efficace. C'est ce qu'a fait M. Péclet dans un rquable travail où il a étudié successivement l'influence vitesse, de la pression, de l'étendue des surfaces de conde l'état de la surface des corps, de leur épaisseur et de nature. La machine électrique dont se servait M. Péclet une machine à cylindre de verre, dans laquelle le frottoir uve placé sur le point le plus élevé du cylindre; la pres- est produite par des poids disposés sur le frottoir; le cye est arrondi et poli autour, afin d'éviter les inégalités de ment; l'électricité est perçue par un peigne métallique ommunique directement, au moyen d'un fil de cuivre reert de taffetas ciré, avec un électromètre à pendule dont la sition permet de suivre exactement les variations de ten-

[1] La gutta-percha est isolante surtout à la surface, car elle conduit assez bien l'intérieur de sa masse.

sion qui surviennent quand on modifie les circonst
frottement. Les premières expériences ont eu pour b
terminer l'influence de la durée du frottement sur l
de l'électricité développée; il résulte de toutes celle
été faites avec un très-grand nombre de corps employ
frottoirs, tels que le papier nu, le papier recouvert d'u
mince de cuivre, d'étain, d'argent et d'or, l'étain en
diverses étoffes de laine, de soie, de coton, le taffet
cuir, etc., que la déviation de l'électromètre va con
en croissant pendant un certain temps, après lequel
sensiblement constante, quelle que soit d'ailleurs l
pourvu que cette vitesse ne change pas. La perman
déviation s'établit quelquefois après la première min
tres fois, elle exige un temps beaucoup plus long, ju
minutes. Cet accroissement graduel et plus ou mo
tient à plusieurs causes, en particulier à la déform
prouve la surface du frottoir pendant les premiers i
frottement.

Après l'influence du temps, celle de la vitesse est i
à connaître. Un très-grand nombre d'expériences f
des frottoirs de différentes espèces et dans des circ
atmosphériques favorables, c'est-à-dire quand l'air es
ont montré que la vitesse avec laquelle a lieu le frott
sans influence sur la quantité d'électricité développ
le pendule de l'électromètre conserve la même dévia
des vitesses de rotation du cylindre de verre crois
à 8, et cela également pour des pressions des frottoir
et petites. Quand l'air est humide, la déviation croît u
la vitesse de 1 à 2° seulement; il est également à n
que la permanence ne se maintient pas quand les vit
très-petites; la déviation alors diminue avec la vites
d'autant plus que l'air est plus humide; ce qui
comme il est facile de le comprendre, de ce que la dé
de l'électricité est proportionnellement plus rapide e
quilibre entre cette déperdition et la production s'étab
limite inférieure. Il est en outre quelques substances
ployées comme frottoirs, produisent des déviations q

tent avec la vitesse ; telles sont, par exemple, de la pluche
ie, de la toile de coton, de la toile de fil, etc. Ces anoma-
ont évidemment dues à la neutralisation de l'électricité du
ndre de verre par les aspérités du frottoir au delà des points
ontact, neutralisation qui doit être d'autant moindre que
itesse est plus grande. Il suffit, pour s'en assurer, de suivre
mouvement que l'électricité imprime aux filaments de la
bce du frottoir, et surtout d'observer dans l'obscurité les
its lumineux qui les terminent ; cette influence doit être
tant plus grande que le corps est meilleur conducteur et
les filaments de sa surface sont plus longs et plus flexibles ;
t en effet ce qu'on observe quand on se sert comparative-
nt d'étoffes de soie et de coton, ou de toile de même struc-
e. Au reste, on peut à volonté produire ou faire disparaître
certains corps les anomalies dont il s'agit, en rendant lisse
plucheuse la partie du frottoir qui dépasse le contact. La
luctibilité imparfaite du frottoir, en empêchant l'écoule-
t immédiat de l'électricité que le frottement développe sur
peut exercer une influence en sens contraire de la précé-
e et diminuer avec la vitesse la tension électrique que doit
térir le cylindre de verre, dont une partie de l'électricité
eprise dans ce cas par celle de nom contraire que le frottoir
erve trop longtemps. La vitesse non-seulement est sans
uence, si on a soin d'éliminer toutes les causes d'erreur,
le maximum de tension électrique qu'acquiert le cylindre
erre frotté, mais elle n'en a point non plus sur la quantité
olue d'électricité qui est produite. Il est facile de s'en assu-
en plaçant une boule métallique communiquant avec le sol,
ne distance du conducteur de la machine telle, qu'il se ma-
ste une étincelle à chaque tour, le mouvement étant uni-
me. Si on change de vitesse, l'étincelle part également à
que tour, quelle que soit cette vitesse. Or, la décharge du
ducteur ayant toujours lieu sous la même tension, il est
ident que le cylindre fournit toujours la même quantité d'é-
tricité à chaque rotation, et que par conséquent, dans un
me temps, la quantité d'électricité produite est proportion-
lle à la vitesse, c'est-à-dire au nombre des rotations. Ce ré-

sultat n'est, comme pour le précédent, absolument pour les frottoirs qui conduisent bien l'électricité, tel métaux, le papier, le cuir; pour les corps mauvais teurs, les décharges ne se manifestent que pour un n tours qui doit être d'autant plus considérable que la v plus grande; ce qui est facile à comprendre, d'apri nous avons dit plus haut.

En résumé, nous voyons que la vitesse est sans infl le développement de l'électricité, et que les anomal observe quelquefois proviennent de l'humidité de aspérités des surfaces, ou de l'imparfaite conducti corps; et il est probable aussi que, pour des vitess vement grandes, le dégagement de chaleur qui accor frottement serait une cause de perturbation.

Un très-grand nombre d'expériences ont démont pression est aussi sans aucune influence sur la tensi lectricité développée. Il résulte d'un examen attentif que la loi qui consiste en ce que les déviations de l'él sont indépendantes des pressions brutes exercées sur l subsiste encore quand on considère les pressions épro les pointes réellement en contact; c'est-à-dire que c éprouvent toujours un accroissement de pression corr à celui de la charge, malgré l'augmentation de leur Quelques anomalies présentées avec certains corps à la chaleur que développe le frottement; c'est ce dont s'est assuré directement.

La longueur du frottoir, soit l'étendue de la surfa n'influe nullement non plus sur la déviation des l l'électroscope; mais il n'en est pas de même de la co frottoir au delà du contact, qui a une influence rée quantité d'électricité; quantité qui diminue d'une très-sensible avec le rayon de courbure. Ce fait, qui r sente que quand le frottoir est un corps conducteur évidemment des phénomènes qui se développent au de la séparation des deux surfaces. Il y a toujours instant une recomposition d'une certaine proportion tricités contraires que les deux corps avaient acqui

ct, et qui deviennent libres lors de la séparation. On peut
e le reconnaître en observant dans l'obscurité des traces
neuses à l'extrémité du coussin. Du reste, on conçoit fa-
ent l'influence de la courbure telle qu'elle se manifeste
ces expériences, en remarquant que le frottoir doit
dre, sous l'action de l'électricité du cylindre, une tension
sante à mesure que la courbure diminue, et qui doit né-
irement augmenter la quantité des deux principes élec-
es qui se recomposent.
'épaisseur, soit du frottoir, soit du verre frotté, a très-peu
fluence sur les résultats, du moins au delà de certaines
ts. Il faut seulement avoir égard, en ce qui concerne le
, à ce que, lorsqu'il est creux comme un tube, au lieu
e plein comme une tige, l'humidité intérieure exerce une
nce qu'on aurait tort d'attribuer à la différence d'épais-

us avons vu qu'on distingue deux espèces de frottements,
de glissement et celui de roulement. Pour comparer les
des deux modes, M. Péclet s'est servi d'un cylindre de
e creux garni à sa surface de plusieurs cuirs destinés à lui
ettre de s'appliquer exactement sur le cylindre de verre de
chine électrique dans une certaine étendue. On pouvait,
oyen de poids, faire varier la pression de ce frottoir contre
rre. En rendant le cylindre immobile, on produisait le
ment de glissement ordinaire; en le laissant libre de
r autour de son axe, on obtenait le frottement de roule-
. Dans ce dernier cas, le cylindre roulant tend, à cause
égalités de la surface, à se séparer du cylindre de verre,
a d'autant plus que la vitesse de rotation est plus grande.
r obvier à cet inconvénient, le meilleur moyen est d'em-
r les mains pour maintenir le cylindre roulant sur le
. On observe ainsi que l'influence de la vitesse et de la
ion, dans ce mode de frottement, est nulle comme dans
e. Quant à la comparaison des effets produits par les deux
s de frottement, l'expérience démontre que le papier, la
et les métaux, ou leurs alliages, produisent la même
ité d'électricité par le frottement de glissement et par celui

de roulement. Les différences qu'on observe avec d'autres corps tiennent à des circonstances accessoires telles que les filaments qui, agissant différemment dans un cas et dans l'autre, peuvent soutirer l'électricité. Il faut aussi avoir égard à une différence importante entre les deux modes de frottement; c'est que dans le roulement, il y a adhésion ou pression continues, et que dans la friction par glissement il n'y en a pas.

Enfin il résulte de quelques observations de M. Péclet, que la chaleur, ainsi que les aspérités de la surface des corps, produisent une tendance négative, et que la chaleur dégagée par le frottement lui-même tend toujours à donner une tension plus négative ou moins positive à celui des deux corps qui est le moins bon conducteur du calorique; résultats tous conformes à ceux qu'avait déjà obtenus Coulomb, et que nous avons rapportés plus haut.

Nous terminerons ce paragraphe en complétant, au moyen des données que nous a fournies l'étude que nous venons de faire, la description et la théorie des machines électriques fondées sur le dégagement de l'électricité par le frottement, que nous n'avons fait qu'esquisser au commencement de ce traité[1].

Nous avons déjà remarqué que toute espèce de verre n'est pas également propre à former le disque d'une machine. Les verres tendres et les verres durs, lorsqu'ils sont récemment préparés et que le frottement a rendu leur surface rayée, ont une faculté conductrice qui diminue notablement leur pouvoir électrique. Le verre le plus convenable n'est pas celui qui est le plus transparent, mais celui qui présente sur sa surface de petits points brillants (d'acide silicique). Les oxydes métalliques qui se trouvent mélangés au verre, et qui lui donnent une teinte bleue, verte ou noire, n'ont en général aucune influence fâcheuse, sauf dans le cas où l'oxyde est celui de manganèse, qui donne une couleur violette au verre. Toutefois, il est très-rare que ce soit la masse même du verre qui soit conductrice; la conductibilité est plutôt superficielle, et a sa source dans la nature hygroscopique de la surface.

[1] Tome I, pages 17 et suiv.

ıstances égales, un disque de verre a une vertu élec-
ıtant plus grande, qu'il est plus mince; ce qui tient
les deux surfaces du disque étant électrisées de la
ctricité, les deux couches électriques, en vertu de
sion mutuelle, ont d'autant plus de densité qu'elles
rapprochées, et que, par conséquent, l'épaisseur
est moindre. M. Riess cite une machine électrique
dont le disque de verre a à peine 3 millimètres d'é-
Il ne serait pas prudent, à cause de sa fragilité,
-dessous de cette limite.
ne de verre passe, après avoir été frotté, entre les
deux mâchoires métalliques faisant partie du con-
olé, et qui embrassent le bord du disque aux extré-
son diamètre horizontal ou vertical. La convenance
si pour soutirer l'électricité sur les deux faces du
t pas parfaitement établie, car si on semble gagner
ière directe une plus grande absorption d'électricité,
côté on aurait, en n'agissant que sur une des faces,
icité douée d'une plus grande densité sur cette face,
ence répulsive de l'électricité
Cependant, sauf dans quelques
uliers, il est préférable de sou-
ois l'électricité des deux faces.
ortant de pouvoir varier la dis-
e le disque de verre et la por-
nducteur qui soutire l'électri-
que cette distance doit diffé-
avec la nature du verre, soit
ns ou moins de densité dont on

Fig. 292.

soit douée l'électricité qui s'accumule sur le con-
on peut employer, pour obtenir ces variations de dis-
système imaginé par Oertling (fig. 292).
ssins doivent avoir avec le sol une communication
i l'on veut obtenir sur le disque une forte électricité.
ur largeur, si d'une part elle augmente l'étendue de
frottée, d'un autre côté elle a l'inconvénient, quand
e certaines limites, de faire perdre au disque une

partie de l'électricité qu'il avait acquise en augmentant sa surface de contact avec un corps conducteur. Il y a donc un juste milieu à tenir, qui dépend de la nature du verre; il ne faut pas, en général, que la longueur du coussin dépasse 5 centimètres. On doit avoir soin d'éviter, dans la construction des frottoirs, toutes les pointes ou arêtes vives qui auraient l'inconvénient de soutirer, et, par conséquent, de diminuer l'électricité du disque. C'est vers le bord du coussinet, là où le disque de verre l'abandonne après avoir été frotté, qu'on risque le plus de rencontrer une communication qui ferait perdre une partie de l'électricité. C'est pourquoi l'on place à cet endroit des prolongements de taffetas bien isolant qui recouvrent le disque jusque près des conducteurs, pour protéger son électricité contre la déperdition provenant de l'action de l'air. Comme nous l'avons dit, on recouvre la peau des coussins d'or musif ou d'un amalgame formé d'étain et de zinc fondus ensemble en

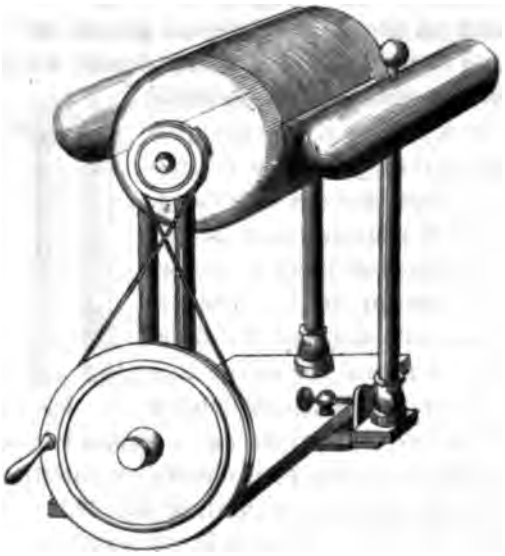


Fig. 293.

proportion égale, avec une addition de deux parties de mercure. Le tout, après avoir été agité dans un flacon, est broyé dans

ıortier en une poudre fine. Avant d'étendre l'amalgame
ıs coussins, on les frotte légèrement avec quelques petits
ɜaux de beurre de cacao. Un coussinet bien amalgamé
rve longtemps son activité électrique, pourvu qu'on ait
d'en enlever fréquemment la poussière que le plateau de
y accumule. Il faut avoir soin, avant de mettre une se-
ɜ couche d'amalgame sur les coussins, d'enlever entière-
l'ancienne. Il faut aussi nettoyer de temps à autre le
 au de verre lorsqu'il a été sali par l'amalgame, et on se
ɔour cela d'éther sulfurique.
lles sont les principales précautions qu'il faut prendre
avoir de bonnes machines électriques. Nous terminerons
·agraphe en en représentant deux, l'une à plateau (fig. 293),

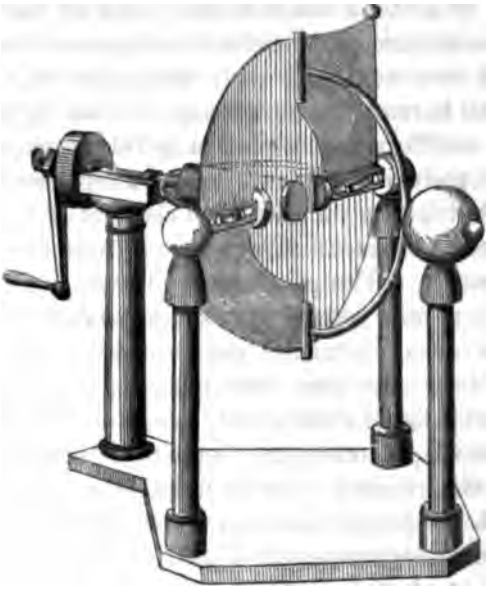


Fig. 294.

·e à cylindre (fig. 294), construites avec tout le soin ima-
ıle. Quoique, ainsi que nous l'avons vu, la rapidité du
ment n'influe nullement sur la quantité d'électricité pro-
, cependant il ne faut pas tourner le verre trop lentement,

afin de ne pas donner à l'électricité le temps de se perdre, entre le moment où elle a été produite par le frottement opéré par les coussins et celui où elle se décharge contre les conducteurs. La vitesse de rotation est surtout nécessaire avec la machine à cylindre où il n'y a qu'un frottoir, et où par conséquent il s'écoule un intervalle de temps assez long entre le moment du développement de l'électricité par le frottement du verre et celui où elle est soutirée par le conducteur isolé.

§ 2. Dégagement de l'électricité dans le frottement des corps en poudre, des liquides et des gaz. — Machine hydro-électrique.

Lorsqu'un corps en poussière est chassé par un soufflet, le frottement qu'il exerce contre le bout même du soufflet, contre une plaque inclinée qu'il rencontre ou contre un tamis ou une étoffe qu'il traverse, suffit pour développer de l'électricité. Bennet a fait la remarque curieuse que la craie en poudre, lancée par un soufflet contre le plateau de l'électroscope, donne de l'électricité positive si le plateau est à 12 centimètres du soufflet, et de la négative s'il est à 15. Cela tient à ce que la craie éprouve deux frottements : l'un contre le tube du soufflet qui la rend positive, et l'autre contre le plateau de l'électroscope qui rend ce dernier négatif. Suivant la distance, c'est l'une ou l'autre des deux électricités qui l'emporte. De la glace en poudre et de la neige bien sèche lancées par un soufflet donnent de fortes lignes d'électricité. Quand on fait glisser de la limaille métallique contre une plaque unie de métal, on obtient des lignes électriques à cause de la faible conductibilité de la limaille. M. Becquerel, qui a fait une étude toute particulière de ce mode de dégagement de l'électricité, a observé que lorsqu'on projette la limaille d'un métal sur une lame du même métal, celle-ci prend l'électricité positive, et la limaille la négative : l'effet est d'autant plus marqué que la limaille est plus fine et le choc plus rapide. Si la lame et la limaille ne sont pas du même métal, l'effet de la division du métal se complique de celui qui tient au développement de l'électricité voltaïque, qui

ı lieu au contact des deux métaux hétérogènes. Ainsi la limaille le cuivre est négative avec des lames de zinc, de plomb, d'étain, le fer, de bismuth et d'antimoine; le zinc en limaille est, par contre, positif avec des lames de platine, d'or, d'argent, de cuivre et d'étain; il est négatif avec des lames de zinc, de bismuth, d'antimoine et de fer. Les oxydes métalliques, ainsi que leurs sulfures réduits en poudre, sont négatifs par rapport à leurs métaux. Il faut éviter que les poussières soient trop fines, car elles s'attachent aux surfaces et empêchent le frottement des parties qui viennent ensuite.

Ces effets sont évidemment liés avec la force d'agrégation, et par conséquent avec la constitution moléculaire des corps; aussi présentent-ils beaucoup d'anomalies tenant précisément à celles qu'offre cette constitution même. Ainsi nous voyons que l'antimoine, qui doit probablement à son mode de cristallisation le caractère spécial qu'il joue dans les phénomènes de cet ordre, est négatif quand il est en lame par rapport à sa limaille, tandis que c'est l'inverse pour les autres métaux. La chaleur, en général, augmente l'intensité des effets, agissant comme le fait ordinairement la division des parties; dans quelques cas, tels, par exemple, que celui où la limaille est de zinc, et où les lames sont peu oxydables, savoir, de platine, d'or, d'argent ou de cuivre, l'élévation de la température produit une inversion dans la nature des signes électriques, le zinc étant négatif au lieu d'être positif.

Indépendamment des expériences que nous venons de rapporter, il en est encore un très-grand nombre soit plus anciennes, soit plus récentes, sur les effets électriques produits par les corps en poudre. Ainsi on a étudié l'électricité prise par différentes espèces de poudres transmises à travers des cribles faits avec des tissus de diverses substances organiques; on a remarqué qu'en général les acides solides ainsi que les terres réduites en poudre prennent ainsi criblés l'électricité négative. On a également étudié l'électricité développée par le frottement des poudres les unes contre les autres. Ainsi on s'est assuré que la cire à cacheter en poudre, frottée avec du soufre en poudre, est positive, et que la poussière de soufre

est négative, tandis que les deux poudres également sont négatives, quand elles sont frottées chacune séparément avec de la toile. C'est au moyen des figures de Lichtenberg qu'on constate facilement la nature de l'électricité de chaque poudre. Nous exposerons plus loin quelques expériences de Faraday sur l'électricité développée par le frottement des corps en poudre, au moyen d'un appareil semblable à celui qui lui a servi à l'étude de l'électricité dégagée par le frottement des liquides et des fluides élastiques. Il nous faut auparavant nous occuper de ce dernier point.

Pendant longtemps les essais qu'on avait faits pour obtenir des signes électriques par le frottement des liquides avaient été infructueux, sauf dans le cas où le liquide était du mercure. Volta avait inutilement employé de l'huile, et il avait considéré l'état liquide comme défavorable à la manifestation de ces phénomènes. Cependant, en faisant usage de liquides amenés à l'état de globules très-divisés, soit isolés, soit mélangés avec un courant d'air, on obtint par leur frottement contre des corps solides, des effets électriques très-prononcés; ainsi l'éther, l'alcool et des résines liquides projetées contre du verre dépoli, le rendent très-positif. On a également remarqué un dégagement de lumière dans la sortie soudaine de l'air très-comprimé du vase où il est renfermé; plusieurs expériences faites en déchargeant des fusils à vent ont donné un résultat semblable. Mais on n'a jamais obtenu la preuve directe que cette lumière eût une origine électrique. Toutefois Wilson avait réussi à électriser de la tourmaline, du verre et de l'ambre, en dirigeant contre ces substances un courant d'air sorti d'un soufflet de forge. Henley et Lichtemberg avaient électrisé de l'ambre et de la cire à cacheter au moyen de l'air chassé par un soufflet ordinaire; mais le dernier de ces deux physiciens n'avait obtenu aucun effet avec les métaux. Volta n'en avait également obtenu aucun en faisant tourner rapidement dans l'air des métaux, tandis qu'il en avait aperçu quelque faible effet en opérant de même avec des corps isolants. Marx, de son côté, n'avait pu électriser pas plus le verre que les métaux par leur frottement contre l'air. Plus tard Faraday a

nment expliqué ces résultats contradictoires en mon-
ne des corps solides tels que le bois, le soufre et les mé-
: peuvent être électrisés par leur frottement contre de
en sec, mais ne le sont qu'autant que l'air renferme de
a quelque autre liquide.

i avons dit que de tous les liquides, celui dont le frotte-
ontre les solides donne les signes les plus prononcés
icité est le mercure. Dessaignes, qui a fait un grand
: d'expériences sur ce sujet, avait trouvé une grande
ce entre les diverses substances quant à leur faculté de
iser par une simple immersion dans le mercure. Ainsi
, le soufre, la cire d'Espagne et le verre ne deviennent
ectriques par cette simple immersion ; il faut pour qu'ils
emnent qu'ils soient un peu plus chauds que le mer-
: que l'immersion soit brusque de manière à produire
:, tandis qu'avec le papier, le coton dont les particules
ent très-facilement un dérangement de position, il suffit
ger ébranlement tel que celui qui résulte de l'immer-
ite, pour qu'il y ait dégagement d'électricité. Du reste,
ultats obtenus par Dessaignes sont tellement complexes
ns ne nous y arrêtons pas davantage, à cause de la diffi-
e bien distinguer les diverses causes qui concourent
production.

erego a repris l'étude des faits observés par Dessaignes,
rvant avec raison que ce dernier physicien avait eu tort
'occuper que de l'électricité acquise par le corps plongé
mercure, et nullement de celle que prend ce métal.
btenir cette dernière, il verse un peu de mercure dans
re à pied et le fait communiquer au moyen d'un élec-
e avec un fil de fer ; puis il plonge dans le mercure, par
ses extrémités, la substance qu'il veut éprouver, en la
entre ses doigts par son autre extrémité. Tant que la
ce reste plongée dans le mercure il n' y a point de
ectrique, mais on en aperçoit au moment où l'on com-
à la retirer ; ils deviennent plus intenses à mesure que
e retirée devient plus considérable ; ils sont à leur
à l'instai où le corps cesse d'être en contact avec

le mercure. L'électricité qu'acquiert le mercure est positive quand la substance immergée est d'une nature organique, telle que le papier, la toile, la laine, le drap, la soie, le taffetas, les plumes à écrire et le feutre; elle est très-forte surtout avec ces quatre dernières substances. Le mercure est en général négatif quand les substances immergées sont minérales, telles que le cristal de roche, le soufre, le verre, etc.: cependant il y a des exceptions. Ajoutons que l'ambre et la cire d'Espagne rendent le mercure très-fortement positif. La température modifie dans quelques corps seulement, et non dans tous, la nature de l'électricité dont se charge le mercure. Il faut avoir soin dans ces expériences de bien décharger le mercure entre deux expériences successives, car il risquerait sans cela de conserver de l'électricité, probablement à cause du verre qui, recouvert extérieurement d'une légère couche d'humidité, constitue une véritable bouteille de Leyde, dont le mercure est l'armure intérieure et la couche humide l'armure extérieure.

Le feutre donne dans ces expériences une telle quantité d'électricité au mercure qu'on peut en tirer des étincelles; il en est de même des plumes; il suffit d'en prendre entre les doigts six ou sept, et de plonger leurs extrémités barbelées dans le mercure jusqu'au fond du vase, pour qu'en les retirant le mercure donne une étincelle. On obtient également un dégagement considérable d'électricité en projetant contre les parois du verre, dont le fond contient toujours du mercure en communication avec un électroscope au moyen d'un fil de fer, un jet de mercure provenant d'une masse de mercure contenue dans un autre verre à pied. L'expérience réussit mieux quand on a soin de chauffer préalablement le verre afin de chasser toute l'humidité. Au reste, on peut constater le fort dégagement d'électricité qui résulte du frottement du mercure contre le verre, en observant la lueur qui se manifeste dans le haut d'un baromètre dont on fait mouvoir légèrement la colonne de mercure, ou dans un tube de verre formé et vide d'air qui renferme un peu de mercure, qu'on agite en lui faisant parcourir vivement l'intérieur du tube de l'une de ses extrémités à l'autre.

ı maintenant au dégagement considérable d'élec-
peut produire le frottement de l'eau contre les
s, dégagement qui sert de base à la machine hydro-
La production de l'électricité par cette machine a
rte avant qu'on en connût la cause, et même on l'a
une cause toute différente de la véritable. C'est
ng qui l'observa le premier dans l'usine de Sighill,
castle. Un mécanicien ayant un jour mis acciden-
ıne de ses mains dans le jet de vapeur d'une chau-
ıte pression, tandis que l'autre était occupée à
poids au levier de la soupape, fut fort surpris de
entre le levier et sa main une étincelle brillante, et
même temps dans ses bras une violente secousse.
même effet en touchant une partie quelconque de
e, ou toute pièce métallique en communication
I. Armstrong analysa avec soin tous ces effets; il
ns cette expansion subite de la vapeur, la produc-
orte électricité positive dont la vapeur était char-
trouva pas d'abord d'électricité négative dans le
e de la chaudière, ce qui tenait à ce qu'elle n'était
car plus tard en l'isolant, il en obtint des signes
Plusieurs autres physiciens répétèrent et varièrent
nces d'Armstrong; mais partant, comme lui, du
e le dégagement de l'électricité était dû à l'expan-
apeur, principe erroné, comme nous allons le voir,
rent rien de bien important aux recherches du pre-
ateur. M. Peltier seulement en prit occasion pour
périences curieuses que nous décrirons plus tard,
cité qui accompagne la vaporisation de l'eau satu-
rents sels, croyant voir là, d'après quelques résul-
par Armstrong, la cause de l'électricité dégagée
ıudières.
M. Faraday qu'on doit d'avoir découvert et bien
ture de cette cause, à la suite d'une analyse expéri-
marquable comme toutes celles qu'a produites l'il-
icien. Son appareil consistait dans une simple
ylindrique isolée sur trois blocs de laque et munie

d'un tuyau de 1dec., 52 de longueur (fig. 295) qui son extrémité un grand robinet et une sphère de mét

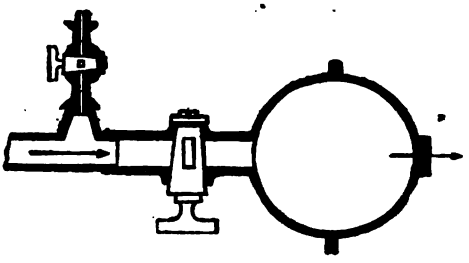


Fig. 295.

de 63 centimètres cubes de capacité. Cette sphère, *globe de vapeur*, était percée d'une autre ouverture on adaptait les appareils de formes diverses devant l'issue de la vapeur; ces pièces étaient assez petites port au globe et au tuyau qui le faisait communiqu chaudière, pour qu'on pût considérer le globe et comme faisant partie d dière, et pour que l elles-mêmes offrissent de la vapeur un obst sant pour occasionne tement considérable.

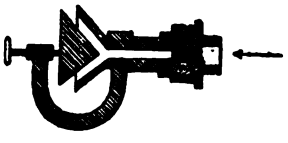


Fig. 296.

pièces se composait (fig. 296) d'un tube métallique entonnoir, et d'un cône qu'une vis faisait avancer moins dans l'entonnoir, de sort vapeur en sortant frottait contre on pouvait du reste isoler ce cô mettre en communication électri l'entonnoir et la chaudière. U pièce (fig. 297) consistait en muni d'un robinet et d'un canal taire fixé au-dessus de ce tube, permettait d'introduire tout autre dans le courant de vapeur, de qu'il fût entraîné avec lui. Enfin une dernière pièce renfermait une petite chambre cylindrique C destin

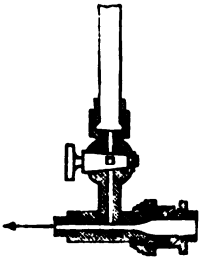


Fig. 297.

ıts liquides, de façon que la vapeur en sortant du
ır, se mêlait en entrant dans cette chambre plus
ec le liquide
ait, et venait
er contre le
e autre pièce
y adapter. Les

Fig. 298.

nt toutes été faites avec de la vapeur dont la force
rié entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{2}{3}$ d'atmosphère, sans jamais dépasser
pression. L'électricité de la chaudière était perçue
ı d'un électroscope à feuilles d'or, soit au moyen
ètre à décharge. Pour observer l'électricité de la
ait faire passer celle-ci à travers un tube isolé garni
nt de diaphragmes de toile métallique, ou en pla-
rajet de la vapeur des fils ou des plaques d'une
nductrice. En général, c'est l'électricité acquise
ère que M. Faraday a toujours perçue.
ord facile de constater que l'électricité produite
à la vaporisation ni à la condensation. On n'a,
r'à enlever subitement la soupape lorsque la va-
e sous la plus forte tension, et il ne se produit pas
tricité, quoique la vaporisation soit considérable.
ment démontrer que l'issue de la *vapeur seule* ne
ır développer de l'électricité, mais qu'il faut la
l'eau à l'état liquide. Ainsi, tant que le globe à
le d'eau et peut recueillir celle qui résulte de la
de la vapeur qui y arrive dans les premiers mo-
pération, la vapeur, en s'échappant, ne produit
ité ; mais dès que le globe est assez rempli pour
e l'eau qui se condense soit entraînée par la va-
gage beaucoup d'électricité. L'électricité est donc
lue au frottement des particules d'eau que la va-
, contre les parois solides des conduits ou contre
comme le cône (fig. 296), qui lui sont opposés à
lement il est nécessaire qu'elle soit pure ; il suffit
rme en dissolution une proportion d'un sel ou
ui la rende meilleure conductrice pour que tout

effet électrique disparaisse. Ce résultat tient évidemment à ce que, lorsque l'eau devient meilleure conductrice, les deux électricités, dégagées lors de son frottement contre les corps solides, dont l'une reste dans ces corps, et l'autre passe dans l'eau elle-même, se recombinent immédiatement. Il suffit, pour constater ce fait important, de mettre dans le globe à vapeur un petit cristal d'un sel tel que le sulfate de soude ou une petite goutte d'acide sulfurique, qui se mêlent à l'eau que la vapeur entraîne : il n'y a plus de dégagement d'électricité; et dès qu'après avoir enlevé ces substances on remet de l'eau distillée dans le globe à vapeur, le dégagement recommence.

Pour déterminer l'influence de la substance contre laquelle vient frotter l'eau, il faut faire usage de cônes (fig. 296) de diverses espèces, qu'on peut isoler à volonté. On a fait successivement usage de cônes en cuivre, en buis, en hêtre, en ivoire, en soufre, en caoutchouc, en cuir verni, etc.; tous sont devenus négatifs pendant que le jet de la vapeur prenait l'électricité positive. Un très-grand nombre d'autres substances prises à l'état de fils, ou de simples fragments, furent tenus dans le jet de vapeur au moyen d'un isolateur, et mis en même temps en communication avec un électroscope à feuilles d'or; toutes furent négatives à des degrés différents, degrés tenant, en grande partie probablement, à leur pouvoir conducteur, qui facilitait plus ou moins la recomposition immédiate des deux électricités.

Il est des substances, telles que l'ivoire, qui développent très-peu d'électricité par le frottement de l'eau; aussi, quand on fait passer la vapeur par un tube d'ivoire, la chaudière se charge à peine d'électricité, et le courant de vapeur n'est pas non plus sensiblement électrique. Cela prouve, encore mieux que tout le reste, que ce n'est pas la vaporisation qui produit l'électricité. Du reste, ce jet neutre sert à étudier l'effet des substances en fils ou en fragments qu'on y place, et c'est avec un semblable jet qu'on a opéré plus haut.

L'eau prend donc toujours l'électricité positive dans son frottement contre les corps solides. Il était intéressant de rechercher quel effet produiraient d'autres substances que l'eau.

isant transporter leurs particules par un courant de va-
. En se servant de l'appareil (fig. 297), et en remplissant
ambre qui surmonte le robinet d'essence de térébenthine,
anière à pouvoir en introduire à volonté dans le passage
vapeur, on trouve, en laissant pénétrer de cette essence,
l'électricité de la chaudière, qui était négative quand la
ur d'eau passait seule, devient immédiatement positive
ue le jet de vapeur peut entraîner des particules d'es-
de térébenthine; et le jet lui-même devient négatif de
f qu'il était. En fermant le robinet qui donnait issue à
nce, au bout de peu d'instants les choses reviennent à
normal, parce que la vapeur a bientôt chassé les particules
nce qui étaient restées et qui ne se renouvellent plus. Les
entes espèces d'huiles et les résines dissoutes donnent les
s résultats. Quelques liquides, tels que le naphte en par-
er, donnent des résultats variables qui tiennent probable-
à ce qu'ils peuvent adhérer au corps frotté et changer
sa nature, tandis qu'il faut qu'ils soient emportés par le
nt de vapeur.
est assez remarquable que, même en très-petite quantité,
e, l'essence de térébenthine et la résine dissoute peuvent
par le pouvoir excitateur de l'eau, ce qui tient à ce que les
les d'eau se recouvrent probablement, par l'effet de l'agi-
de la masse, d'une couche superficielle de ces substances,
même manière qu'une goutte d'huile mise sur l'eau s'étale
diatement sur toute la surface en y formant une pellicule.
cette facilité des globules d'eau à se recouvrir ainsi d'une
nie huileuse dépend de leur pureté; aussi la pellicule
ile ne peut pas rester longtemps sur la surface d'une eau
ne qui la dissout, tandis que la pellicule d'essence de téré-
hine y persiste.
rès cette étude de l'influence de la vapeur, qui lui avait
ntré qu'elle n'exerce aucun effet par elle-même, mais
nent parce qu'elle est un agent mécanique qui entraîne
rticules par lesquelles le frottement est exercé, Faraday
prit quelques expériences sur l'air comprimé, en se ser-
d'un fort vase en cuivre de 912 centimètres cubes de capa-

cité, muni de deux robinets : l'un servant à l'entrée de l'air, l'autre à sa sortie. Quand l'air n'avait pas été desséché et qu'on le laissait échapper subitement contre le cône de cuivre ou de bois, il rendait ce cône négatif, effet dû évidemment aux particules d'eau condensées par le froid provenant de la dilatation de l'air : ces particules, du reste, étaient visibles dans le brouillard qui apparaissait et dans l'humidité qui recouvrait la surface du bois et du métal. Mais avec de l'air parfaitement sec on n'obtenait aucun effet, preuve que ni l'air *seul*, ni la vapeur *seule*, ne sont capables d'électriser les corps par le frottement.

En adaptant au réservoir où l'air est condensé l'appareil de la figure 298, on peut, en mettant dans la boîte C ces différentes substances, constater l'effet qu'elles produisent en étant entraînées par le courant d'air; c'est ainsi que la poudre de soufre rend négatif le cône de métal, celui de bois et celui de soufre, que la résine en poudre rend négatif le cône de métal, mais positif celui de bois, que l'amidon rend le bois négatif, que la silice en poudre très-fine rend le métal et le bois fortement positifs. Il est assez curieux que le soufre et la silice en poudre prennent des états électriques contraires à ceux que ces deux substances affectent quand elles sont en masse, du moins quand le frottement a lieu au moyen de la forte impulsion que leur imprime le courant d'air qui les entraîne. Toutefois il y aurait même bien des expériences à faire sur ce sujet, quoiqu'il résulte évidemment de l'exposition que nous venons de faire qu'il n'y a d'électricité développée par le frottement qu'autant que les corps frottés sont tous deux solides, ou l'un solide et l'autre liquide, et que le frottement des particules gazeuses contre les solides ne dégage point d'électricité.

Ajoutons, avant de terminer ce paragraphe, que la découverte d'Armstrong a donné naissance à la construction d'une machine électrique très-puissante qui a été nommée *hydro-électrique*, et dont il nous reste à donner la description sommaire.

Cette machine se compose 1° d'une chaudière à vapeur *a*, isolée (fig. 299) ; d'une boîte réfrigérente *b*, de trois becs d'échappement *c* et d'un conducteur *d*.

a chaudière a environ 8 décimètres de longueur et 4 de mètre; elle est à foyer intérieur; *f* est la porte du foyer; *g*

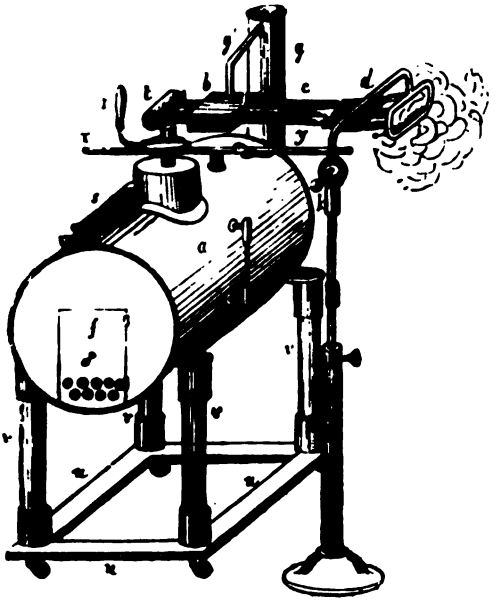


Fig. 299.

minée; on a coutume de la chauffer au charbon de bois; est isolée sur les quatre colonnes de verre *v*, qui sont elles-mêmes portées sur un cadre à roulettes *u*; *s* soupape de sûreté; tuyet pour donner issue à la vapeur et mettre l'appareil en science; lorsqu'on l'ouvre, la vapeur passe d'abord dans le *st*, et de là se distribue dans trois petits tubes qui traver- en ligne droite la boîte réfrigérente, et arrive au bec d'é- ement qui termine chacun de ces tubes.

boîte réfrigérente *b* contient de l'eau à la température aire; mais son niveau n'est pas tout à fait assez élevé pour touche aux tubes à vapeur; seulement des mèches de , posées sur ces tubes et plongeant par leurs deux extré- dans l'eau de la boîte, se mouillent par capillarité, et ssent ainsi à un certain é et les tubes et la vapeur elle ils do .] vapeurs qui se produi-

sent dans la boîte se rendent dans la cheminée par le tube *g*.

Le bec d'échappement est la pièce essentielle, c'est de sa construction que dépend la puissance électrique de la machine; après divers essais, M. Armstrong s'est arrêté à la disposition qui est représentée dans la figure 300. Près de son extrémité, le tube à vapeur s'élargit en cône, et dans ce cône on introduit une pièce qui se compose d'un tronc de cône de bois de perdrix *p*, dont la petite base fait corps avec la pièce de métal *m*. La vapeur arrivant directement contre le métal, se brise; elle est forcée de gagner la fente, et là, se brise de nouveau pour passer dans l'orifice de grandeur convenable qui est dans l'axe du tronc du cône de bois de perdrix; l'anneau à vis *n* ne sert qu'à tenir solidement le bec d'échappement.

Fig. 300.

En traversant la boîte *b*, le refroidissement a produit quelques fines gouttelettes d'eau qui sont emportées par la vapeur, et c'est le frottement de ces gouttes contre le bois de perdrix qui développe l'électricité, comme nous l'a démontré l'analyse que M. Faraday a faite de ces phénomènes. Ainsi les gouttes d'eau composent le corps frottant, les parois du bec le corps frotté, et la vapeur n'est que l'agent ou le moteur qui détermine une friction rapide.

Le conducteur *d* a la forme qui est représentée sur la figure; il prend l'électricité à la vapeur; il est lui-même isolé, et c'est sur la boule *k* que l'on va tirer l'étincelle.

On voit encore un autre tube d'échappement *xy*, qui est destiné à introduire diverses substances pulvérulentes sur le chemin de la vapeur, afin d'étudier leur influence sur la nature et sur la quantité d'électricité produite, comme l'a fait Faraday.

Ce qui distingue surtout les machines hydro-électriques des machines ordinaires, c'est la grande quantité d'électricité à haute tension qu'elles produisent. Une petite chaudière contenant seulement 36 litres d'eau peut donner 4 à 5 étincelles par seconde de 12 à 15 centimètres de longueur. Les grandes chaudières donnent des résultats quatre à cinq fois plus forts.

ains égards, ces machines semblent réunir les avantages
achines ordinaires à forte tension et ceux des appareils
ques dont les effets dépendent principalement de la quan-
électricité développée à chaque instant.
té de ces avantages, les machines hydro-électriques ont
vénient de ne pouvoir servir aux usages journaliers,
qu'elles exigent, pour donner des effets sûrs et énergi-
les préparations et des soins particuliers. Il est vrai que
constances atmosphériques ne les influencent pas au
degré que les machines ordinaires ; au contraire la cha-
ui émane du foyer et de la chaudière rend les soutiens de
très-isolants et empêche même, quand on se sert pour le
age d'un charbon dépourvu d'humidité, la fuite de l'é-
ité par le courant d'air chaud provenant de la combus-
Mais, d'un autre côté, on est obligé, afin de porter la
à la pression requise de 5 à 6 atmosphères, d'entretenir
uffage pendant plusieurs heures ; il est nécessaire d'en-
toutes les impuretés de l'intérieur de l'appareil, en y
préalablement chauffer une solution de potasse qu'on
échapper à travers les tubes, puis en lavant avec de l'eau
ie très-propre. En outre, il est bon de renouveler, à
l'un coup de lime, l'état intérieur des tubes de bois dont
ure superficielle se ramollit et se détériore par la vapeur
e. Enfin, pour obtenir de puissants effets, on a trouvé
antage à maintenir la chaudière plusieurs jours en acti-
n la chargeant et la préparant chaque jour de nouveau.

. Dégagement de l'électricité dans le frottement de deux corps bons conducteurs.

rottement de deux corps bons conducteurs ne peut pas
lieu à un dégagement d'électricité à l'état de tension.
es corps aurait beau prendre dans le frottement l'élec-
positive et l'autre la négative, qu'aucun signe de l'une
l'autre de ces deux électricités ne serait perceptible.
et, jamais on ne peut séparer assez promptement les
orps frottés l'un de l'autre pour que la recomposition

immédiate des deux principes électriques accumulés séparément sur chacun d'eux, n'ait lieu auparavant. Pour mettre en évidence le développement d'électricité qui accompagne le frottement de deux bons conducteurs tels que deux métaux, il faut employer le moyen imaginé par M. Becquerel. On soude à chacun des bouts d'un multiplicateur à fil court une plaque d'un métal différent; on passe chaque bout dans un bouchon de liége évidé de manière à enchâsser dedans la soudure et une partie de la plaque; on mastique celle-ci au bouchon au moyen duquel on la tient, afin de ne pas l'échauffer par le contact de la main, et qu'en passant simplement l'une des plaques sur l'autre, il n'y ait aucun effet produit à cause de l'égalité de température. Mais dès qu'on les fait glisser légèrement avec frottement l'une sur l'autre, chacune d'elles prend une électricité contraire dont la recomposition, pouvant se faire en partie par l'intermédiaire du fil du multiplicateur, donne naissance à un courant électrique. Voici un tableau de différents corps classés dans un ordre tel que chacun d'eux est négatif par rapport à ceux qui le suivent, et positif par rapport à ceux qui le précèdent [1]. *Bismuth*, *palladium*, *platine*, *plomb*, *étain*, *nickel*, *cobalt*, *cuivre*, *or*, *argent*, *iridium*, *zinc*, *fer*, *cadmium*, *arsenic*, *antimoine*, *anthracite*, *peroxyde de manganèse*. On est immédiatement frappé, en jetant les yeux sur ce tableau, que l'ordre des métaux est exactement le même que celui de leur pouvoir thermo-électrique, et cependant il est facile de s'assurer que l'élévation de la température qui peut résulter du frottement n'est point la cause de l'électricité dégagée. En effet, si l'on se sert de deux cylindres d'un décimètre de longueur, l'un de fer, l'autre de cuivre, et qu'on les frotte de façon que les mêmes points du premier parcourent continuellement toute la surface du second, ces points s'échauffent davantage que la dernière surface, et cependant on obtient le même courant électrique quant au sens ou à l'intensité que dans le cas inverse où l'on

[1] Cette manière de classer les métaux indique que le courant produit par deux métaux tels que bismuth et antimoine, frottés ensemble, va de celui qui est placé le second dans l'ordre (l'antimoine), à celui qui est le premier à travers le fil du galvanomètre, ou du premier au second à travers leur point de contact.

ait la surface du premier métal avec les mêmes points du
nd. Ainsi le plus ou moins de chaleur dégagée n'exerce
une influence sur le phénomène. Le point essentiel pour
r le plus d'électricité possible, c'est de séparer, aussi promp-
nt qu'on le peut, les parties frottées, tout en maintenant le
ect, afin d'empêcher la plus grande proportion des deux
ricités de se recombiner immédiatement sans passer par
du galvanomètre.

. Gaugain avait cru trouver dans la presque égalité qu'il a
rvée entre l'intensité de l'électricité développée par le frot-
nt et celle de l'électricité dégagée dans les mêmes circons-
s par une élévation de température égale à celle que ce
nment détermine, une preuve que le courant électrique est
galement dans les deux cas au réchauffement et que le frot-
nt n'agit qu'indirectement en produisant ce réchauffe-
t. Mais depuis qu'il a été bien constaté que la chaleur
it elle-même dans la production des courants thermo-
riques que par les changements moléculaires qu'elle dé-
ine, il est bien plus naturel de voir dans le frottement un
en direct de produire ces changements. Quant à l'égalité
st observée par M. Gaugain, elle provient de ce que les
nts électriques étant dus à l'arrangement et à la nature
ive des particules des corps en contact, leur intensité doit
la même, quelle que soit la cause qui agisse sur ces corps,
vu qu'elle agisse avec la même puissance et que les corps
nt les mêmes.

ici, du reste, encore une expérience de M. Peltier, qui dé-
tre que le plus léger changement dans la position d'équi-
des particules d'un circuit métallique fermé suffit pour
ire un courant et par conséquent pour troubler l'équi-
des forces électriques. On forme un grand cercle avec un
cuivre non recuit mis en rapport avec un galvanomètre
plicateur à fil court ; on a soin de soutenir ce cercle de
ce en distance par des supports ; puis on le place alter-
ment dans le méridien magnétique, dans un plan per-
ulaire à ce méridien, ou dans une position intermédiaire,
le pouvoir tenir compte de l'action inductive du magné-

tisme terrestre. L'équilibre de température étant bien établi, on soulève ou l'on abaisse une partie du fil; il se forme alors des flexions qui ne peuvent avoir lieu sans un déplacement de particules, et, par suite, sans qu'il y ait un courant électrique. Il arrive quelquefois qu'il n'y a aucun effet produit; cela a lieu probablement quand il se développe deux courants égaux et dirigés en sens contraire de chaque côté du point ébranlé. Lorsque cette circonstance se présente, il faut écrouir quelques portions d'un côté de l'arc au moyen de la percussion et de la torsion, ou bien les faire recuire. Cette cause d'inégalité suffit pour faire naître le courant par la simple flexion du fil. Les courants ne peuvent être attribués à l'induction terrestre, puisqu'ils se manifestent quelle que soit la position du circuit par rapport au méridien magnétique. Quant au sens du courant, il tient à des différences dans l'état moléculaire dont il est impossible de se rendre compte. Il faut, du reste, si peu déranger l'état moléculaire des corps pour troubler leur équilibre électrique, qu'on peut obtenir un courant de direction variable en frottant simplement le fil entre les doigts ou avec du drap; on peut le provoquer encore en le tirant à la filière après avoir eu soin de mettre ses deux bouts en communication avec le fil d'un galvanomètre multiplicateur.

Plus tard, M. Sullivan a réussi également à obtenir une légère déviation de l'aiguille d'un multiplicateur en réunissant les extrémités du fil de l'instrument par un fil formé de deux bouts consécutifs, l'un de laiton, l'autre de fer qu'il faisait vibrer, après l'avoir tendu de manière à lui faire rendre un son musical. Le courant cessait immédiatement avec la vibration, preuve que la chaleur qui aurait pu se dégager pendant la vibration ne concourt en rien au phénomène, puisqu'elle n'aurait pas pu disparaître instantanément. Avec un barreau d'antimoine soudé à un barreau de bismuth, de manière à former en tout une barre de 25 centimètres de longueur sur 10 millimètres de largeur et 7 millimètres d'épaisseur, l'effet est prononcé; il suffit pour mettre la barre en vibration de la frapper avec un morceau de fer, une lime par exemple. L'amplitude des déviations, soit l'intensité du courant développé,

it dépendre de la manière dont les vibrations se pro-
e long du fil. Il n'est pas nécessaire que la barre soit
e de deux métaux de nature différente pour obtenir
bration un courant électrique; il suffit que sa texture
as homogène. Ainsi on obtient un effet sensible avec
e de fer dont une portion est d'un fer dur et cristallisé,
'un fer doux et fibreux. Ces résultats démontrent d'une
évidente l'influence directe des mouvements molécu-
r la production de l'électricité.

des expériences de M. Ermann montrent bien le rap-
artant ainsi l'indépendance qui existe entre le frotte-
la chaleur dans la production des courants électriques.
cien a trouvé, en combinant différents groupes de mé-
manière à en faire des couples thermo-électriques,
ottement exercé à leur point de contact produit le même
'une addition de chaleur appliquée au même point,
ire détermine un courant si la température du point
ct est la même que celle du milieu ambiant, et aug-
ntensité du courant déjà existant si cette température
levée. Cet effet, que Ermann appelle tribo-thermique,
blable ni à celui de la chaleur de conductibilité ni
: la chaleur rayonnante. Sa production lorsque le
commence, et sa disparition quand il cesse, sont
it indépendantes de la durée de l'action qui lui
sance. Le physicien allemand semble croire que ces
s tiennent à un genre particulier de vibration mo-
citée exclusivement dans les points frottés et se
lans le milieu conducteur aussi instantanément
électricité.

ment de l'électricité dans les actions mécaniques autres que le frottement.

ut n'est pas la seule action mécanique qui soit une
icité. Toute cause qui détermine un mouvement
ns un corps solide en produit. Ainsi il suffit de
corps tranchant, de limer ou de racler divers

corps tels que la gomme laque, le soufre, la résine, la cire, le suif, du chocolat, etc., pour que les fragments en tombant sur un électroscope, le chargent d'électricité et même donnent des étincelles, et les fragments détachés sont positifs. Il suffit de légères différences dans le mode de désagrégation pour faire varier la nature de l'électricité. Ainsi avec un couteau non aiguisé, le bois de hêtre chauffé donne des fragments positifs, et il en donne de négatifs quand il est froid; avec un couteau aiguisé les fragments sont négatifs dans les deux cas également. De même quand on racle de la cire à cacheter avec des lames métalliques bien aiguisées, les parties détachées sont négatives, tandis qu'elles sont positives quand le tranchant est émoussé. Le nombre des faits de détail, décrits par différents expérimentateurs sur ce sujet, est tellement considérable qu'il suffit d'en énoncer quelques-uns pour en comprendre l'importance, d'autant plus qu'on ne les a pas rattachés encore à aucune loi générale. Nous nous bornerons donc à insister sur la production de l'électricité dans une espèce de désagrégation très-remarquable, celle qui a lieu dans le clivage des cristaux. C'est encore à M. Becquerel qu'on doit l'analyse de ce mode de dégagement de l'électricité.

Lorsque l'on clive rapidement une lame de mica dans l'obscurité, on aperçoit toujours une faible lueur phosphorique dont la cause a été un mystère jusqu'à ce qu'on ait fait l'expérience en fixant une tige isolante à chacune des faces opposées de cette lame, afin de pouvoir séparer les deux faces et les présenter à un électroscope. On trouve alors que chacune des faces séparées possède un excès d'électricité contraire, dont l'intensité est d'autant plus grande que la séparation a été plus rapide. Ce phénomène ayant toujours lieu, quelque mince que soit la lame de mica, on peut en conclure qu'il se reproduirait encore à la limite, c'est-à-dire s'il était possible de séparer l'une de l'autre deux molécules. Ces faits prouvent deux choses :

1° Que les molécules possèdent au moins deux faces douées de facultés différentes; car, sans cela, on ne voit pas pourquoi une des lames donne une électricité et l'autre lame l'électricité contraire; 2° que chacune de ces faces manifeste une polarité

rique à l'instant où l'on détruit la force d'agrégation. Les
ns chimiques, comme nous le prouverons, conduisent aux
es conséquences.

mica n'est pas la seule substance qui possède la propriété
ique de clivage, nous la retrouvons dans le talc feuilleté
int-Gothard, ainsi que dans toutes les substances cristal-
rangées parmi les corps mauvais ou médiocres conduc-
. On peut donc poser en principe que toutes les fois que
épare deux molécules en contact, chacune d'elles emporte
rès d'électricité contraire, pourvu toutefois que les corps
nels elles appartiennent ne soient pas tellement bons
ncteurs que la recomposition des deux électricités deve-
libres, suive immédiatement leur séparation.

ur réussir dans ces expériences, il faut enlever aux cris-
la couche d'eau hygrométrique qui adhère ordinairement
r surface, et porter rapidement les parties séparées à l'élec-
pe.

ux lames de mica détachées du même cristal, rapprochées
de l'autre et légèrement pressées jusqu'à les faire adhérer,
nt de la compression chacune avec l'état électrique qu'elle
dait à l'instant du clivage. L'effet est particulièrement
qué quand on élève légèrement la température de celle des
qui possédait l'état négatif en sortant du clivage.

est facile d'expliquer maintenant pourquoi l'on ne peut
illir d'électricité libre quand on broie, dans un mortier
e, des cristaux de substances conduisant mal l'électricité,
y a recomposition immédiate des deux électricités con-
dégagées sur deux lamelles contiguës. C'est par le même
que l'on n'obtient aucun effet électrique lorsqu'on brise
rps cristallisés irrégulièrement ou formés de parties
ées confusément, comme des tubes de verre, des bâtons
mme laque, etc., etc. — On conçoit de même pourquoi
'observe aucun signe d'électricité libre dans le clivage
ristal conducteur de l'électricité, comme la galène, les
et autres, attendu que la vitesse de séparation ne peut
être assez grande pour empêcher la recomposition des
lectricités à 'instant où elles se séparent. A défaut d'élec-

tricité libre, on pourrait constater la présence de cet agent au moyen des effets électriques de mouvement; à cet effet, le cristal devrait être mis en communication par deux points avec les bouts du fil d'un galvanomètre. Il est infiniment probable qu'en clivant rapidement le cristal, les deux électricités provenant de la destruction de l'attraction moléculaire, produiraient, en suivant le fil pour se recombiner, un courant qui réagirait sur l'aiguille aimantée.

Les effets électriques qu'on obtient dans la solidification des corps fondus tiennent, comme les précédents, à une désagrégation, c'est-à-dire à la destruction de l'attraction moléculaire entre deux substances soit homogènes, soit hétérogènes. Ainsi, si l'on verse dans un verre conique préalablement chauffé, du soufre en fusion, et que l'on plonge dedans, avant qu'il soit refroidi, un tube de verre, on trouve, après la solidification, que, lorsqu'on enlève le cône de soufre, le vase de verre possède un excès d'électricité négative et le soufre un excès d'électricité positive. Le chocolat, l'acide phosphorique après leur solidification dans un verre donnent des effets semblables. M. Gay-Lussac a remarqué que l'adhérence des corps entre eux d'abord, puis leur séparation par l'inégalité de leur retrait, comme cela a lieu entre le verre et le soufre, sont des conditions indispensables pour que l'on obtienne de l'électricité après la fusion et la solidification d'un corps. Ainsi les métaux qui ne réunissent point ces conditions n'en manifestent aucune trace après leur solidification dans du verre. M. Gay-Lussac conclut de ces observations et de quelques autres encore que la congélation, soit la solidification n'est nullement, comme on l'avait cru, une source d'électricité, mais qu'elle n'est qu'un moyen de produire dans quelques cas une désagrégation moléculaire qui est elle-même la cause de l'électricité dégagée.

M. Boettiger est arrivé à la même conclusion que Gay-Lussac, en amenant à l'état de fusion dans un creuset de platine du sulfate double de cuivre et de potasse. Il n'a pas observé la moindre trace d'électricité pendant l'acte de la cristallisation; mais le creuset manifestait des signes d'électricité positive dès que le sel se contractait en pétillant et en se détachant du

métal. Il résulte de toutes ces expériences qu'il faut nécessairement une séparation violente de la masse fondue d'avec les parois du vase qui la renferme, pour qu'il y ait dégagement d'électricité.

C'est évidemment à l'électricité qui accompagne tout changement dans la position relative des particules que sont dus les phénomènes lamineux qui se manifestent dans la cristallisation de certains corps, et dont M. Henri Rose a fait une étude toute particulière. L'acide arsénieux est la première substance sur laquelle on ait observé une phosphorescence lorsque de l'état vitreux il passe à l'état opaque en cristallisant. M. Rose a étendu l'observation aux sulfates de potasse et de soude et à d'autres sels encore. Mais il a remarqué que la lumière qui accompagne la cristallisation dépend beaucoup des circonstances dans lesquelles a lieu cette cristallisation, et en particulier du milieu dans lequel le sel se dissout, ce qui influe, en effet, sur la position relative des particules.

Le simple écartement des particules, tel qu'il a lieu dans les corps élastiques comprimés au moment où la pression cesse, peut aussi, sans qu'il soit nécessaire qu'il y ait désagrégation, être accompagné d'un développement d'électricité. Ainsi Libes a observé le premier, qu'en posant sur un disque de bois recouvert de taffetas enduit d'une couche de résine élastique, un disque de laiton fixé à un manche de verre, avec la précaution de ne lui faire éprouver aucun frottement, si l'on presse légèrement le taffetas gommé, le disque de métal prend un excès assez considérable d'électricité négative ; les effets sont inverses en pressant avec frottement ; des disques d'argent, de zinc, etc., ont donné des effets semblables. Cette différence entre les effets de pression et ceux de frottement est des plus remarquables, et n'a pu être expliquée jusqu'ici qu'en admettant que le rapprochement des particules libère l'électricité opposée à celle qui est dégagée par leur écartement.

Plus tard, Haüy trouva qu'un cristal de spath d'Irlande et quelques autres substances minérales jouissent de la propriété de devenir électriques par la simple pression des doigts; mais cette propriété n'est pas aussi restreinte qu'il le pensait, car,

ainsi que l'a prouvé M. Becquerel, elle appartient à tous les corps, même à ceux qui sont conducteurs, pourvu qu'ils soient isolés. Pour mettre le fait en évidence, on forme, avec les substances que l'on veut essayer, des petits disques d'une épaisseur de quelques millimètres que l'on adapte à des manches parfaitement isolants; on prend un manche dans chaque main, et l'on presse les disques l'un contre l'autre; après les avoir retirés du contact, on les présente au disque de clinquant de l'électroscope de Coulomb préalablement électrisé; on trouve alors que les deux corps possèdent une électricité contraire, pourvu toutefois que le corps soit mauvais conducteur; le liége et le caoutchouc, pressés l'un contre l'autre, donnent le premier l'électricité positive, le second l'électricité négative.

Les substances minérales cristallisées ayant un aspect vitreux, telles que la chaux sulfatée, la chaux fluatée, la baryte sulfatée, prennent l'électricité positive quand elles sont pressées avec le disque de liége. Des fruits, tels que l'orange, comprimés par un disque de même nature, lui communiquent, au contraire, un excès d'électricité positive; à mesure que le fruit se dessèche et perd de son élasticité, la faculté de s'électriser diminue. Plusieurs causes tendent à modifier le dégagement de l'électricité par pression : la première est le plus ou moins de conductibilité des corps. Si l'on emploie, par exemple, un disque de moelle de sureau et un disque de métal, il n'y a aucun effet produit, et il en est encore de même toutes les fois que des substances pressées sont conductrices de l'électricité. Il paraît qu'à l'instant où l'on exerce la pression, il se forme un nouvel état d'équilibre entre les deux électricités qui composent l'électricité naturelle des molécules en contact; tant que dure la pression, ces deux électricités sont dissimulées l'une par l'autre; ainsi, malgré leur attraction réciproque et leur tendance à passer d'un corps dans l'autre, il se trouve dans la pression une force qui neutralise ces deux actions. Quand les corps sont bons conducteurs, dès l'instant qu'une diminution de pression a lieu, les deux électricités se recombinent instantanément, quelle que soit la vitesse de séparation, tandis que, lorsque l'un d'eux n'est pas bon conducteur, une diminution

ession n'entraîne pas immédiatement cette recomposition, lle met plus ou moins de temps à s'effectuer, suivant le de conductibilité des deux corps pressés. L'expérience nte met en évidence l'influence de la vitesse de séparation les effets électriques de pression. Pressez un disque de sur une orange, et retirez-le ensuite vivement, il emporte lui un excès d'électricité positive assez considérable; mais ne le retire que lentement, on trouve que cet excès va en nant; et si la vitesse de séparation est très-lente, il nt à peine sensible.

chaleur modifie les phénomènes de pression. Si l'on prend nchon de liége bien sec, et qu'on le coupe par la moitié un instrument tranchant, en pressant les deux parties ées l'une contre l'autre, assez ordinairement elles pren- chacune un excès d'électricité contraire; mais il arrive nt aussi qu'elles ne sont pas électrisées. Si l'on élève de ques degrés la température de l'un des deux disques, celle autre restant constante, on trouve que la partie chauffée l à l'autre l'électricité négative. Deux morceaux de spath nde, à la même température, ne sont pas électrisés par ion; mais il suffit d'une différence de température très- pour leur donner cette faculté. A température égale, les disques de liége ne doivent leurs facultés électriques de ion qu'à une différence dans l'état de leur surface; celle le plus d'aspérités prend toujours à l'autre l'électricité ive. L'état des surfaces dans les corps mauvais conduc- influe aussi sur leur qualité conductrice, car le spath nde, qui est rangé parmi les corps les plus mauvais con- urs (puisqu'il conserve pendant des semaines entières tricité qu'on lui a communiquée), devient suffisamment nducteur quand on lui a enlevé son poli, pour qu'il soit aire de l'isoler si l'on veut qu'il conserve son électricité. pérités déterminent donc non-seulement l'électricité que prendre un corps mauvais conducteur, mais elles modi- encore sa conductibilité électrique.

r mesurer les effets électriques de pression, il faut un il qui perm te à volonté de varier les causes qui influent

sur leur production. L'expérience prouve que les intensités croissent proportionnellement aux pressions, pour des pressions qui ne dépassent pas 10 kilogrammes. Cette loi s'étend-elle à des pressions plus élevées? Il est difficile de répondre à cette question. Nous avons vu que M. Péclet avait entrepris quelques recherches à cet égard, en vue particulièrement de déterminer l'influence de la pression, de la vitesse, etc., sur le dégagement de l'électricité dans le frottement; mais les résultats qu'il a obtenus ne peuvent être appliqués en rien au cas actuel. M. Becquerel croit qu'il est possible que la quantité d'électricité que prend chaque corps pendant qu'on le comprime soit dépendante du degré de l'attraction que les molécules des surfaces exercent les unes sur les autres; mais comme on ne peut apprécier les rapports existant entre l'attraction et la pression, ou le rapprochement plus ou moins grand des molécules, il est impossible de déterminer les rapports entre les quantités d'électricité correspondantes. La difficulté de séparer instantanément les deux corps comprimés, sans passer par des pressions intermédiaires successives, rend pour ainsi dire impossible la détermination des rapports en question.

On serait peut-être porté à croire que la chaleur dégagée dans la pression est la cause du développement de l'électricité; l'expérience suivante, due à M. Becquerel, prouve le contraire en même temps qu'elle montre l'influence du rapprochement des molécules pour augmenter le dégagement de l'électricité quand on vient à séparer les corps. Deux corps se trouvant sous l'action d'une certaine pression, si l'on vient à diminuer celle-ci de moitié, l'effet de la pression perdue subsiste pendant un temps dont la durée dépend du degré de conductibilité, de sorte que si l'on retire immédiatement ces corps de la compression, chacun d'eux emporte avec lui un excès d'électricité contraire, plus grand que celui qui est dû à la pression restante. Maintenant, au lieu de séparer les corps lorsque la pression a été diminuée, on rend celle qui a été enlevée, et l'on répète plusieurs fois ce mode d'action. Une lame de spath d'Islande et un disque très-mince de liége ont donné, par exemple, les résultats suivants. Ces deux corps étant d'abord sous la

sion de 4 kilogrammes, on a réduit celle-ci de moitié sans ger le contact; et une minute après on les a séparés ; la ion électrique de chaque disque était représentée par 170 ; séparation eût eu lieu pendant la pression de 4 kilo- mmes, la tension aurait été de 250, et pendant la pression kilogrammes, de 125, moitié de la précédente; on voit que, dans le premier cas, l'effet produit par la pression a été perdue subsiste encore en partie. Au lieu de séparer orps quand on a réduit la pression de 4 à 2, on leur rend la sion qui a été enlevée, et l'on répète plusieurs fois ce jeu rnatif de pression simple et de pression double. On trouve, définitive, que le disque de liége ne possède jamais plus que ensité 250, correspondante à la pression la plus forte.

Parmi les actions moléculaires, il en est une que M. Becrel avait cru être une source d'electricité, c'est l'action caire; mais il a reconnu que l'électricité dégagée dans les nomènes capillaires pouvait tenir aux nombreux effets qui mpagnent la production de ces phénomènes, tels que le lement des liquides contre les parois des espaces capillaires, action chimique qui a lieu dans quelques cas, tels que celui l'on obtient un courant électrique par la pénétration d'un de dans les pores du platine spongieux, etc.

En résumé, nous pouvons établir, comme un principe rigou- sement démontré par l'expérience, que non-seulement le lement, mais toute action mécanique qui trouble l'équilibre léculaire en dérangeant de leurs positions naturelles les par- les d'un corps, devient une cause de production d'électri- é; électricité dont la manifestation est plus ou moins sen- le, suivant les conditions diverses dans lesquelles se trouvent corps soumis à ces actions mécaniques.

4. Considérations générales sur le dégagement de l'électricité par les actions mécaniques, et sur ses rapports avec le dégagement de la chaleur.

Nous avons établi dans les paragraphes qui précèdent le incipe général que tout ébranlement imprimé à un corps

d'où résulte un dérangement dans l'état de son équilibre moléculaire est accompagné d'une production d'électricité qui se manifeste plus ou moins facilement, suivant les conditions de conductibilité et de constitution physique des corps ébranlés. Nous avons rapporté les expériences de divers physiciens qui montrent la grande analogie qui existe entre les actions mécaniques et l'action de la chaleur dans le développement de l'électricité, et qui nous conduisent à reconnaître que ce qui détermine la nature comme l'intensité de l'électricité, c'est bien plus le corps soumis à l'action que l'action elle-même. Voilà donc un motif de plus d'admettre que les particules sont, comme nous l'avons déjà dit souvent, douées d'une polarité électrique, laquelle, dans l'état naturel, est dissimulée par l'équilibre qui s'établit entre les polarités égales et contraires de toutes les particules d'un même corps. L'action mécanique, comme la chaleur, vient troubler cet équilibre, soit en changeant la position relative des particules, soit aussi en détruisant l'uniformité de leurs mouvements naturels de rotation; conditions, l'une et l'autre, nécessaires pour l'équilibre. L'action mécanique fait plus : en désagrégeant dans quelques cas les particules, elle les isole, et alors elle permet la manifestation de leur polarité électrique ; c'est ce qui est surtout sensible dans les substances cristallisées où les poles ont une position semblable sur la même face de clivage. C'est pourquoi quand on clive une lame de mica, on rend libre sur l'une des faces, l'électricité positive de toutes les particules de cette face, et sur l'autre, par conséquent, l'électricité négative de toutes ses particules également.

La production d'un courant électrique, telle que Peltier l'a obtenue en imprimant à une portion d'un conducteur faisant partie d'un circuit fermé un mouvement de vibration, ne peut s'expliquer qu'en admettant que cette action vibratoire permet aux particules qui y sont soumises de s'orienter suivant leur polarité, effet semblable à celui que produirait le passage d'un courant artificiel; et de faire naître un courant par le seul fait de cette orientation. Cette polarité, du reste, a été mise en évidence d'une manière tout à fait remarquable par M. Volpicelli.

manière d'opérer du savant Italien consiste à déterminer une tige métallique une vibration qui se communique à couche isolante résineuse dont l'une des extrémités de tige est recouverte. C'est en faisant glisser, tantôt dans ns, tantôt dans un sens contraire, contre un anneau métal- isolé la tige métallique dans la partie non recouverte d'une he isolante, que les vibrations y sont produites pour se ger de là à la couche résineuse. On observe que, lorsque rtion recouverte de cette couche est celle qui est en avant le mouvement progressif imprimé à la tige, c'est d'élec- é négative que se charge la partie métallique de cette ibre, preuve que cette électricité est aussi celle que prend rface intérieure de la couche isolante. Quand le mouvement a dans l'autre sens, l'électricité positive remplace la néga- Dans chacun des deux cas on peut s'assurer que la sur- extérieure de la couche isolante prend une électricité con- e à celle dont se charge la surface intérieure. Il suffit, pour stater, de recouvrir la couche d'un petit anneau métal- , qui est isolé ainsi de la tige avec laquelle il n'a aucune munication métallique. Un fil de métal très-fin, isolé dans , fait communiquer cet anneau avec un électroscope; on fit de la même manière la communication entre l'électros- pe et la partie métallique de la tige. Quand on veut recueillir tricité de la surface extérieure de la couche isolante, il est rable de faire communiquer avec le sol la tige métallique support qui porte l'anneau contre lequel on la frotte.

n peut recouvrir les deux extrémités de la tige également e couche isolante, et la faire glisser en la tenant à la main s une portion de sa longueur où la surface métallique est à vert. On observe que dans chaque excursion de la tige, tricité de la surface externe de la couche isolante est né- e à l'extrémité qui est en avant dans le mouvement im- é, et positive à l'extrémité qui est en arrière. Cette expé- e démontre bien que la direction suivant laquelle se ge la vibration longitudinale imprimée à la tige, influe la polarité que manifestent les molécules de la substance e auxquelles cette vibration est communiquée.

Quelques essais faits avec des tiges de divers méta
blent établir des différences entre eux quant à leur fa
développer par la transmission des vibrations qu'ils épr
la polarité sous la couche isolante. Le fer et l'acier so
égard, très-inférieurs au laiton et à l'argent. Il est ég
désavantageux que l'anneau métallique sur lequel glis
présente des rugosités; il faut que les deux surfaces
l'une contre l'autre soient bien polies. Une atmosph
et froide contribue beaucoup au succès des expérience
prendre toutes les précautions possibles pour qu'il n'
d'électricité dégagée dans le contact des mains et de
isolantes. On doit avoir soin également d'enlever, ava
rer, la couche mince d'humidité qui recouvre presque
la surface de la substance isolante.

M. Volpicelli a trouvé encore qu'en remplaçant a
mités de la tige métallique la couche de résine par un
de soufre, on obtient les mêmes résultats. Si l'on re
tubes de verre les extrémités de la tige, on obtient é
des effets semblables à ceux que produisent des tiges
verre, c'est-à-dire une polarité inverse de celle que
tent la résine et le soufre. Enfin, lorsqu'on se sert
entièrement de résine ou de soufre, on remarque
passant sur l'anneau qui la frotte elle abandonne
partie de sa substance, ce qui arrive assez souvent, s
un temps chaud, il y a toujours une polarité dévelop
qu'elle est renversée; elle redevient ce qu'elle était préc
si l'on change le support. Il est assez curieux de vo
cas la polarité s'affaiblir graduellement, devenir n
changer de nature. Ce phénomène particulier ne se
jamais avec les tiges de verre qui, en effet, ne peu
être désagrégées. Un fait important, c'est que les ex
de M. Volpicelli réussissent aussi bien et même mieu
vide que dans l'air, preuve que l'électricité de l'air n'
rien.

Il est assez remarquable que la polarité se dévelop
manière beaucoup plus prononcée dans les tiges de
dans celles de résine et de soufre, qui, en effet, vibre

moins bien que les premières. Ajoutons enfin qu'en recou-
de diverses substances le support sur lequel s'opère le
ement de la tige, on n'altère nullement le sens de la pola-
, qui dépend toujours de la direction dans laquelle a lieu
ersion de la tige. C'est une preuve que le phénomène est
le résultat d'une vibration longitudinale imprimée à la
et non du frottement qu'elle éprouve en passant sur le
port.

Il semblerait donc résulter des recherches de M. Volpicelli
la vibration imprimée à une substance isolante par l'inter-
diaire d'une tige vibrante, permettrait aux molécules de
substance de se disposer de façon à constituer une chaîne
aire perpendiculaire à l'épaisseur de la couche, et présen-
, par conséquent, à ses deux extrémités, les électricités
traires. Le sens de la vibration influerait sur le sens dans
uel seraient tournés les pôles de chacune des particules. Une
ion mécanique produirait donc ici un effet tout à fait ana-
ue à celui d'une action calorique.

Ainsi voilà la chaleur et les actions mécaniques capables de
terminer dans les corps un état électrique identique, ce qui
prend moins depuis que les physiciens, comme nous l'avons
à remarqué, ont été conduits par des faits d'un tout autre
re à ce qu'on a appelé la théorie mécanique de la chaleur.
s déjà auparavant M. Becquerel avait signalé l'analogie
existe entre les effets de chaleur et les effets électriques
duits par le frottement; en les étudiant comparativement,
ait arrivé à démontrer que quand les corps sont de même
ure, mais de mauvais conducteurs de la chaleur, et ne diffé-
nt entre eux que par l'état de leurs surfaces, la surface qui
chauffe le plus, prend l'électricité négative, et celle qui s'é-
uffe le moins, la positive. Ce principe important nous ser-
a plus loin, concurremment avec d'autres auxquels nous
duira l'étude de l'action chimique considérée comme source
l'électricité, à établir certaines différences entre les pro-
iétés et l'action du pôle positif et celles du pôle négatif
chaque particule. Car si, à intensité égale, il n'exis-
pas dans la puissance extérieure de l'un des pôles, com-

parée à celle de l'autre une certaine différence, il est un g nombre de faits dans les phénomènes électro-chimiques qu raient inexplicables; c'est ce que nous montrerons en chant à établir directement les preuves de cette diffé après avoir achevé l'étude des sources artificielles de l tricité.

Liste des principaux travaux relatifs aux sujets traités dans ce chapit

Biot. — Frottement des conducteurs imparfaits. — *Traité de phys. mentale et mathématique.* T. II, p. 354.

Heintz. — État électrique particulier du verre. — *Annales de l'élect* p. 551, et *Annales de chim.* T. LIX, p. 305.

Loevel. — Propriétés du verre. — *Ann. de ch. et de phys.* T. XXIX, p

Hauy. — Électricité par le frottement des minéraux. — *Ann. de c phys.* T. VIII, p. 383. — Électricité par pression. — *Idem.* T. V, p. 95.

De la Rive. — Électricité par le frottement des métaux. — *Bibl. univ* p. 13.

Péclet. — Influence de l'action chimique nulle dans l'électricité pa ment. — *Ann. de ch. et de phys.* T. LXXI, p. 83. — Lois de l'électr frottement. — *Idem.* T. LVII, p. 337.

Schoenbein. — Papier électrique. — *Arch. des sc. phys.* T. II, p. 1

Becquerel. — Électricité par le frottement des métaux soit en masse poudre. — *Ann. de ch. et de phys.* T. XXXVIII, p. 113. — Électricité par et par le clivage des cristaux. — *Idem.* T. XXII, p. 5 ; t. XXXVI, p. 265. lectricité produite par les actions capillaires. — *Idem.* T. XXIV, p. Comparaison entre l'électricité et la chaleur dégagée par frottement. - T. LXX, p. 324.

Colladon. — Effets mécaniques dans les filatures, de l'électricité par le frottement. — *Bibl. univ.* (1836). T. I, p. 362.

Dessaigne. — Électricité par immersion dans le mercure. — *Ann. de phys.* T. II, p. 59.

Perego. — *Idem.* — *Arch. de l'électricité.* — T. II, p. 395.

Armstrong. — Dégagement d'électricité par l'expansion de la vapeur. - *de l'élect.* T. I, p. 145.

Peltier. — Électricité de la vapeur à haute pression. — *Idem.* T. I, p

Faraday. — Électricité dégagée par le frottement de l'eau, des ac quides et des poudres. — *Idem.* T. III, p. 369, et *Ann. de ch. et de phys velle série*). T. X, p. 88.

Gaugain. — Électricité développée par le frottement de deux meta *Comptes rendus de l'Acad. des sc. de Paris.* T. XXXVI, p. 541 ; et *Arch. phys.* T. XXII, p. 381.

ier. — Courant produit dans un fil conducteur par un dérangement mo-
ire. — *Ann. de ch. et de phys.* T. LX, p. 261.
ieum. — Courants produits par les vibrations des métaux. — *Arch. de*
r. T. X, p. 480.
mann. — Influence du frottement sur les effets thermo-électriques. —
de l'élect. T. V, p. 477.
Rose. — Lumière qui accompagne la cristallisation. — *Ann. de Pogg.*
, p. 443.
-Lussac. — Électricité produite par la séparation de corps adhérents. —
de ch. et de phys. T. VIII, p. 161.
picelli. — Polarité électrostatique. — *Comptes rendus de l'Acad. des sc.*
ris. T. XXXVIII (15 mai 1854). *Arch. des sc. phys. et natur.* (*Bibl. univ.*).
VIII, p. 265.
ss. — Détails divers sur l'électricité par frottement. — *Traité de l'élec-*
t par frottement. T. II, p. 362 et suiv.
ntley. — Relation d'anciennes expériences sur l'électricité par frottement.
oire de l'électricité.

CHAPITRE III.

ÉLECTRICITÉ PRODUITE PAR LES ACTIONS CHIMIQUES.

§ 1. Production d'électricité par l'action chimique des liq sur les solides. — Couple et pile voltaïques.

Toute action chimique est accompagnée d'une perturb dans l'état d'équilibre des molécules d'un corps, et doit, conséquent, être une cause de dégagement d'électri c'est même de toutes la plus puissante, quoiqu'elle ne se pas toujours l'être ; ce qui tient à la facilité avec laquell deux électricités tendent le plus souvent à se recomposer médiatement. Aussi faut-il, dans ce mode de producti distinguer, comme dans les autres, l'électricité produit l'électricité perçue.

Déjà Lavoisier et Laplace avaient cherché, avec l'aid condensateur, à obtenir des signes d'électricité de tension l'action sur le zinc de l'acide sulfurique étendu ; plus t Fabroni, Wollaston et Parrot avaient attribué aux actions miques que les liquides exercent sur les métaux, la produc de l'électricité dans la pile voltaïque ; mais ce n'est que depu découverte du galvanomètre multiplicateur qu'on a réus prouver, par des expériences directes et concluantes, que t action chimique donne naissance à un courant électrique. C en 1823 qu'Oersted remarqua que si l'on fixe aux extrémités d galvanomètre deux pièces d'un même métal, telles que d lames de zinc, et qu'on les plonge l'une après l'autre dans acide étendu, on observe une déviation de l'aiguille qui dique la production d'un courant électrique. Becquerel tro plus tard qu'on détermine également un courant en plon dans une solution acide ou alcaline, les deux bouts du fil

d'un galvanomètre; mais il faut, pour que le courant
, que le liquide exerce une action chimique sur la partie
gée du fil; le même physicien observa en outre que le
u courant paraissait dépendre de celui des deux bouts
qui était le plus vivement attaqué, et qu'ainsi c'était de
ui était plongé le dernier, ou qui avait le plus de points de
t avec le liquide que partait le courant, soit l'électri-
sitive, pour se rendre dans le liquide, le traverser, puis
à l'autre bout, et revenir au premier en traversant
de l'instrument. Yelin, à peu près à la même époque,
une série d'expériences faites sur un grand nombre de
ux, desquelles il résultait qu'en plongeant deux morceaux
ème métal dans divers liquides acides et alcalins, on ob-
it des courants dont le sens et l'intensité paraissaient dé-
re de celui des morceaux qu'on avait plongé le premier,
la nature relative du liquide et du métal.

grand nombre de physiciens vinrent bientôt ajouter des
ves nombreuses, soit directes, soit indirectes, à celles que
venons d'indiquer, pour démontrer d'une manière pé-
toire que toute action chimique donne naissance à de l'é-
icité qui se manifeste, ou à l'état statique, soit de tension,
l'état dynamique, soit de courant.

ur mettre de l'ordre dans l'étude que nous allons faire de
source électrique, nous examinerons le dégagement de
tricité auquel elle donne naissance en prenant successive-
les diverses formes sous lesquelles peut avoir lieu l'action
ique. Cette action peut être celle d'un liquide sur un so-
celle de deux dissolutions l'une sur l'autre, celle des gaz
gant sur les solides et sur les liquides sous certaines con-
s; à ces trois formes nous ajouterons celle qui constitue
nomène de la combustion que nous étudierons séparé-
, à cause du caractère particulier qui lui est propre. Nous
mencerons par la forme que nous avons indiquée la pre-
: savoir, l'action d'un liquide sur un solide; ce sera l'objet
paragraphe. Ce mode de production de l'électricité est le
remarquable de tous, soit en lui-même, soit parce qu'il est
se du pouvo électrique de la pile voltaïque.

Mais avant d'en aborder l'étude, il est nécessaire de
une difficulté sérieuse qu'elle présente. On avait ad
temps, et beaucoup de physiciens admettent encore q
tact de deux corps solides conducteurs et hétérogèn
source d'électricité, l'un des corps se constituant, par l
de leur contact, dans un état positif, et l'autre dan
négatif. Or, comme pour percevoir l'électricité prod
l'action chimique, il faut le plus souvent mettre e
deux conducteurs solides de nature différente, on a v
buer à ce contact et non à l'action chimique, la pro
l'électricité. Toutefois nous montrerons, que dans ce
l'action chimique qui est la véritable source de l'élec
que le contact n'est qu'une condition le plus souvent r
mais pas toujours indispensable à la manifestation
électriques qu'il est par lui-même incapable de dé
car nous verrons que cette manifestation peut avoi
l'effet de l'action chimique seule sans contact. Enfin
sacrerons un paragraphe de ce chapitre à l'étude plu
de tous les faits qu'on a allégués en faveur de la t
contact; nous chercherons à démontrer qu'ils sont fa
pliquer sans qu'il soit nécessaire d'admettre cette thé
qu'ils sont une conséquence des divers modes d'actio
duisent l'électricité; nous examinerons dans ce m
pitre les diverses théories électro-chimiques, en exp
qui nous paraît le mieux en accord avec les phénom
l'état actuel de la science. Venons-en maintenant
même de ce paragraphe.

Pour bien analyser les effets électriques qui résulte
tion chimique des liquides sur les corps solides, il faut
cer par opérer avec l'électroscope condensateur. M. I
qui le premier a fait des expériences de cette manièr
sur le plateau d'un condensateur une capsule de mét
d'un liquide, puis il plongeait dans ce liquide l'extrém
lame métallique dont il tenait l'autre bout entre l
Suivant la nature relative des deux métaux et du liqu
posé entre eux, il trouvait sur le plateau du condensat
tôt de l'électricité positive, tantôt de la négative. Si l

était de platine, quelle que fût la nature du liquide et celle du métal tenu entre les doigts, l'électroscope indiquait toujours que la capsule avait pris de l'électricité positive. Avec une capsule de cuivre, les signes étaient tantôt positifs, tantôt négatifs, selon que le métal plongé dans le liquide était plus ou moins attaqué par ce liquide lui-même. Il en était de même avec une capsule en bois remplie d'eau et en contact immédiat avec le plateau supérieur du condensateur; l'eau, la capsule et par conséquent le plateau prenaient l'électricité positive quand on plongeait une lame plus oxydable que le laiton du condensateur; le plateau prenait l'électricité négative avec des lames moins oxydables que lui. Tous ces résultats s'expliquent très-bien en partant du principe que, lorsqu'un liquide attaque un métal, le liquide se charge d'électricité positive et le métal de négative. Quand les expériences sont faites avec la capsule de platine, il n'y a d'action chimique que sur la lame de métal qu'on plonge dans le liquide, si du moins celui-ci n'exerce aucune action sur le platine; le liquide se charge ainsi d'électricité positive qui se répand dans le platine et de là sur le plateau du condensateur, tandis que l'électricité négative sort par les doigts avec lesquels on tient le métal. Si la capsule, au lieu d'être de platine, est faite d'un métal attaquable par le liquide, il y a alors deux actions, celle du liquide sur le métal de la capsule et celle du même liquide sur la lame métallique qu'on y plonge. En vertu de la première action, la capsule se charge d'électricité négative, et la positive se répand dans le liquide d'où elle tend à sortir par la lame métallique qui communique par les doigts avec le sol; en vertu de la seconde, cette lame prend l'électricité négative qui s'en va dans le sol, tandis que l'électricité positive se répand dans le liquide et passe de là dans la capsule, pour affecter le condensateur. Celui-ci doit, en vertu de cette double action, recevoir à la fois de l'électricité négative et de la positive, et suivant que ces deux électricités ont une intensité égale ou différente, il donne des signes électriques ou nuls, ou négatifs, ou positifs. Le premier cas se réalise quand la lame plongée est de même nature que la capsule, le second quand le métal de la capsule est plus

attaqué que celui de la lame, le troisième quand c'est le métal de la lame qui est plus attaqué que celui de la capsule.

Pour éviter qu'on puisse attribuer tout ou partie des effets obtenus, au contact de la capsule avec le plateau du condensateur, il faut que celui-ci soit du même métal que la capsule; de platine, si celle-ci est en platine, de cuivre si elle est en cuivre, de zinc si elle est en zinc. Les phénomènes se passent exactement de la même manière. Du reste, dans toutes ces expériences on peut employer un condensateur dont le plateau soit en cuivre doré avec soin, ou en cristal bien aplani recouvert d'une mince couche d'or. On se sert alors d'une capsule de platine pour y placer le liquide de façon que tout en étant isolée on puisse la mettre en communication métallique[1] avec l'un des plateaux du condensateur, après s'être assuré qu'il n'y a point d'électricité développée dans son contact avec le plateau. Puis on plonge successivement dans le liquide les diverses lames métalliques attaquables par ce liquide, en les tenant par les doigts.

Nous citerons encore une expérience de M. Matteucci, qui démontre de la manière la plus directe le dégagement d'électricité qui accompagne l'action chimique d'un liquide sur un métal, dans un cas où il n'y a pas possibilité de faire intervenir un effet dû au contact de deux métaux différents. On unit à l'un des plateaux d'un condensateur en cuivre, au moyen d'un fil, également en cuivre, une large lame de ce métal qu'on fait descendre et plonger dans l'eau d'un puits en la soutenant avec un cordon de soie; l'autre plateau du condensateur communiquant avec le sol. Après quelques instants de contact on trouve le condensateur chargé d'électricité négative. Si l'on verse une petite quantité d'acide sulfurique ou chlorhydrique dans l'eau du puits, les signes électriques sont encore plus prononcés. Lorsque la lame, au lieu d'être plongée dans l'eau du puits, est mise dans le liquide d'un grand récipient bien isolant, on n'a plus de signes de tension, à moins qu'on ne fasse commun-

[1] On se sert pour cela d'une tige de platine ou de laiton doré, tenue par un manche isolant.

par la main ou par un corps conducteur quelconque, l'eau cipient avec le sol. Ce que M. Matteucci a fait avec le , on peut le faire avec tous les autres métaux, en ayant que la lame plongée dans l'eau, le fil qui touche le plateau ndensateur, et ce plateau lui-même, soient du même métal. on n'obtient des signes électriques qu'autant que la lame lique est susceptible d'être attaquée chimiquement par le le dans lequel on la plonge.

physicien allemand, M. Karsten, avait déjà fait, avant Matteucci, un grand nombre d'expériences qui dé- rent l'exactitude des principes que nous avons posés, qu'il les ait interprétés différemment, en y voyant la preuve développement d'électricité dans le contact des corps es et liquides; mais les faits observés par M. Karsten con- nt à une conclusion précisément contraire. Il opère avec ls de *zinc*, de *cuivre*, d'*argent* et de *platine*, contournés en à l'une de leurs extrémités, laquelle plonge dans une dis- tion acide, alcaline ou saline, et communiquant par l'autre des plateaux d'un condensateur. Si le fil et le plateau en zinc, celui-ci se charge d'électricité négative. Quand fils sont plongés en même temps dans le liquide sans se her, par exemple un fil de zinc et un fil de cuivre, le fil de is en contact avec le plateau du condensateur se charge tricité négative, et le fil de cuivre de positive, et cela que soit le métal dont est fait le condensateur. Il va sans que le résultat est le même quand on remplace le fil ivre par un fil d'argent ou de platine; mais si l'on met able dans le même liquide, toujours sans qu'ils se tou- , un fil de cuivre et un fil de platine, c'est le cuivre qui e au condensateur l'électricité négative, et le platine la ive. Tous ces résultats sont parfaitement d'accord avec le ipe fondamental que nous avons établi, savoir, que dans ion chimique d'un liquide sur un métal, le métal se charge tricité négative, et le liquide d'électricité positive, électri- qui est prise au liquide par le métal moins oxydable qu'on nge. Nous reviendrons dans notre dernier paragraphe sur ques autres expériences de M. Karsten, qui sembleraient,

au premier abord, favorables à l'opinion que le conta
aussi, indépendamment de l'action chimique, une sou
lectricité par lui-même.

Les signes électriques qu'on obtient dans les exp
que nous venons de rapporter sont, en général, assez
il faut pour leur manifestation un électroscope et un c
teur très-sensibles; ils ne sont pas le moins du mond
port, quant à leur intensité, avec la vivacité de l'ac
mique qui leur donne naissance, tellement que l'une
énergiques parmi ces actions, celle de l'acide su
étendu sur le zinc, ne donne pas une manifestatio
tricité plus forte sensiblement que celle qui résulte de
oxydation du zinc par l'eau. Cette anomalie appare
à un principe que nous avons rappelé au commencem
chapitre, celui de la recomposition immédiate des de
tricités, portées par l'action chimique, l'une dans l
l'autre dans le liquide. Le métal et le liquide étant to
très-bons conducteurs, ces deux électricités tendent à
directement sur la surface où a eu lieu leur séparation
d'aller l'une se rendre au sol, et l'autre affecter le c
teur. Il n'y en a qu'une très-faible proportion qui é
cette neutralisation immédiate, et c'est elle qu'accusen
truments. Il faut donc avoir bien soin de distingue
production de l'électricité par les actions chimiques
nous l'avons fait pour les autres sources, l'électricité p
l'électricité produite. Ainsi, par exemple, c'est à la
stance que la recomposition immédiate est beaucou
facile, qu'il faut attribuer ce fait que l'action chimiqu
sulte sur le zinc de la simple humidité de la main avec
on le fait communiquer avec le sol, donne souvent de
électriques plus prononcés que ceux qui résultent de
sur ce même métal de l'eau acidulée. Et cependant la q
totale d'électricité produite est bien moindre dans le p
cas que dans le second.

[1] Nous verrons plus loin que ce n'est pas aux mêmes points de cette
où se fait le dégagement de l'électricité, que la recomposition s'opère. I
que celle-ci a surtout lieu quand la surface n'est pas homogène.

Mais la manière la plus simple de diminuer la proportion des deux électricités qui se recomposent à mesure qu'elles sont dégagées, c'est de faire évaporer le liquide à l'instant où vient de produire l'action chimique. On fait chauffer fortement une capsule d'un métal oxydable, puis on y verse quelques gouttes d'eau, soit pure, soit légèrement acidulée; l'eau touche le métal chaud et se vaporise en même temps, en sorte que l'électricité positive est emportée par la vapeur, et peut se réunir avec la négative, qui du métal passe à l'électroscope dont il fait diverger fortement les feuilles d'or, sans qu'il soit nécessaire de l'intermédiaire d'un condensateur. Si la quantité de liquide injectée dans la capsule est trop considérable pour être entièrement vaporisée, il n'y a presque aucun signe électrique parce que les deux électricités peuvent se recomposer, la positive n'étant pas emportée par la vapeur.

Les effets électriques qu'on obtient par le moyen que nous venons d'indiquer avaient été déjà observés par Volta et par Saussure, et ils avaient été attribués par ces illustres physiciens, à la vaporisation même du liquide. Mais il est facile de prouver que cette vaporisation n'est point la cause réelle du phénomène, en se servant d'une capsule de platine bien pure, chauffée jusqu'au rouge, et en y injectant, soit de l'eau, soit un liquide incapable, comme l'eau, d'attaquer le platine ou de se décomposer lui-même par l'action de la chaleur. On n'obtient alors aucun signe électrique, ainsi que M. Pouillet l'a observé le premier. Cependant, si la capsule n'est pas évasée, il arrive quelquefois qu'elle se charge d'une électricité négative qui provient, ainsi qu'on l'a remarqué, du frottement contre les parois de platine, des globules d'eau entraînées par la vapeur. Il y a également production d'électricité si l'eau tient un sel en dissolution, ou si le liquide éprouve une altération chimique par son contact avec le platine chaud. Cet effet, comme nous le verrons dans le paragraphe suivant, est dans quelques cas un effet simplement mécanique, et dans le plus grand nombre, un effet vraiment chimique, provenant de la décomposition de la dissolution.

M. Matteucci a réussi à rendre sensible sous la même forme

l'électricité due à l'oxydation, sans avoir besoin de chauffer préalablement le métal. Il place au fond de la capsule de platine un petit morceau de potassium, qu'il écrase pour l'étendre et le faire adhérer à la surface du platine; puis après avoir mis la capsule en communication avec le condensateur, il fait tomber une goutte d'eau sur le potassium; celle-ci est décomposée avec inflammation de l'hydrogène; dès que la flamme de l'hydrogène a cessé, on enlève le plateau du condensateur, et on trouve que la capsule lui a communiqué l'électricité négative, tandis que l'hydrogène et la vapeur d'eau formée par sa combustion ont emporté la positive.

Quelques physiciens ayant attribué les signes électriques, même dans le cas où la capsule est oxydable, au frottement contre les parois, des gouttelettes liquides entraînées mécaniquement par la vapeur, M. Buff a disposé l'expérience de façon à démontrer catégoriquement que l'effet provient bien de l'action du liquide sur le métal. Dans ce but, il a renfermé le liquide dans une cornue de verre, chauffée par une lampe à alcool, pour éviter ainsi toute influence de l'électricité de la flamme. Un fil de métal, enveloppé d'un tube de verre, qui le préserve du contact de la vapeur, plonge par une extrémité dans le liquide, et par l'autre communique avec un des plateaux d'un électroscope condensateur. A l'ouverture de la cornue est placée une lame de platine bien isolée, que les vapeurs doivent rencontrer en se dégageant, et qui communique avec le second plateau du condensateur ou avec le sol, ce plateau dans ce cas communiquant aussi avec le sol. L'échauffement du liquide et l'évaporation lente qui en résulte sont accompagnés d'une charge très-sensible du condensateur; mais cette charge n'a pas lieu si, tout en laissant la lame de platine, on retire le fil qui plonge dans le liquide, preuve que la simple évaporation d'un liquide ne produit pas d'électricité. Du reste, la force de la charge dépend à la fois de la nature du liquide et de celle du fil qui y plonge. Les plateaux du condensateur étant en cuivre doré, et le liquide de l'eau de source ordinaire, on obtient une charge négative en plongeant dans l'eau un fil de zinc. En remplaçant successivement le zinc par le cuivre et l'argent,

encore des signes négatifs, mais d'une intensité de plus en faible.

s expériences de Buff sont assez analogues à celles de Kars- avec cette différence que les signes électriques sont beau- plus prononcés à cause de l'évaporation du liquide, qui portant l'électricité positive, diminue la proportion des électricités qui se recombinent d'une manière immédiate.

reviendrons également sur quelques-unes des expé- es de Buff qui, comme celles de Karsten, sembleraient, l on ne les examine pas de près, favorables à la théorie du ct.

résulte de ce qui précède qu'il est très-difficile d'obtenir 'action chimique des manifestations d'électricité statique intensité un peu prononcée. Il n'en est pas de même pour nifestations qui ont lieu sous la forme dynamique ou de nt, l'action chimique étant de toutes les sources celle les produit avec le plus d'énergie, parce qu'on peut r en grande partie l'influence de la recomposition immé- . En effet, on plonge dans un vase rempli d'eau acidulée lame d'un métal oxydable, tel que du zinc, par exem- puis on l'unit hors du liquide, par un fil de métal qui st soudé, à une lame de platine plongée dans le même le. Alors l'électricité positive que prend le liquide par de l'action chimique peut s'unir à la négative que le attaqué a gardée, en traversant la lame de platine et le fil nit cette lame au métal (fig. 301). Une le proportion des deux électricités se alise de cette manière, au lieu de le immédiatement à la surface de contact quide et du métal attaqué, et elle donne nce ainsi à un courant électrique qui cusé par son action sur une aiguille ntée placée dans le voisinage du fil con- ur, au moyen duquel les deux métaux unis : fil qui peut être celui d'un galvanomètre.

Fig. 301.

tte association de deux métaux, ou de deux corps solides ucteurs, communiquant ensemble métalliquement, et pla-

cés dans un liquide également conducteur qui attaque l'un d'eux exclusivement, ou du moins plus que l'autre, se nomme *couple voltaïque*[1]. Il n'est pas nécessaire que l'action chimique soit absolument nulle sur l'un des métaux; il suffit pour qu'il y ait courant électrique que l'action soit plus forte sur l'un que sur l'autre. On peut alors envisager les deux métaux comme donnant séparément naissance à deux courants électriques, dont l'un, celui provenant du métal le plus attaqué, est plus intense, et l'autre, celui provenant du métal le moins attaqué, est plus faible, chacun des deux métaux servant de conducteur au courant de l'autre. Le courant perçu est alors la différence entre les deux courants partiels inégaux; il serait tout à fait nul si ces deux courants partiels étaient absolument égaux, condition presque impossible à réaliser, même en employant deux métaux aussi semblables que possible quant à leur nature et à l'étendue de leur surface. La figure 302 représente le cas de ces deux courants partiels dirigés en sens contraire; la plus grande flèche indique la direction du courant définitif, résultant de la différence des deux courants partiels. On voit que c'est le métal le plus attaqué, le zinc, par exemple, qui détermine la direction du courant définitif, courant qui part de ce métal pour se diriger à travers le liquide au métal moins attaqué (le cuivre), et de ce métal au premier, à travers le conducteur qui les unit extérieurement.

Fig. 302.

Nous continuerons à appeler *positif*, comme on le fait dans la théorie du contact, celui des métaux du couple qui, étant le plus attaqué, détermine la direction du courant, et *négatif* le métal moins ou pas attaqué qui ne fait que servir

[1] Dans la pile les deux métaux du même couple plongent bien dans le même liquide, mais ne sont pas unis métalliquement ensemble, l'un d'eux est uni au métal du couple suivant, et l'autre au métal du couple précédent; dans la théorie de Volta on appelle couple la réunion des deux métaux unis ensemble métalliquement, lors même qu'ils plongent dans deux compartiments liquides différents.

nducteur au courant définitif. Il faut seulement ne pas e de vue que l'électricité positive, au lieu de sortir par le positif, soit plus attaqué, sort par l'autre, après avoir sé le liquide, et que c'est par conséquent la négative qui u métal le plus attaqué. Le mot positif indiquera seule- pour nous que le métal ainsi dénommé est celui qui nine le sens du courant[1].

ant de nous occuper des circonstances qui influent sur nsité de l'électricité dégagée dans un couple voltaïque et oyens de l'augmenter, il est nécessaire de prouver que n chimique qui accompagne la production du courant il donne naissance, en est bien la cause.

vais déjà démontré, en 1828, en me servant d'un galvano- très-délicat, qu'un couple formé de deux lames, l'une l'autre de platine, ne développe aucun courant quand il longé dans l'acide nitrique parfaitement pur, mais qu'il de verser une goutte d'acide hydrochlorique dans l'acide ne pour obtenir un courant très-prononcé, dirigé de l'or tine à travers le liquide. Il n'y a d'autre différence entre ux cas, sinon que dans le premier il n'y a pas d'action que ni sur l'un ni sur l'autre des deux métaux, tandis ns le second, l'or est attaqué et que le platine ne l'est l'est moins. Pour que cette expérience réussisse bien, il nployer de l'or et du platine préparés avec beaucoup de in qu'ils soient dégagés de tout alliage, et avoir soin ur surface soit bien propre. M. Becquerel avait déjà

s avons trouvé plus commode de ne pas changer la dénomination em- s l'origine, lors même qu'il est prouvé maintenant que c'est du métal sitif que part extérieurement au couple l'électricité négative, et du pelé négatif que part de même la positive. Mais ce n'est point une con- n, vu que dans la théorie chimique, le point de départ des deux élec- nt à la surface de contact du métal attaqué et du liquide excitant, et nt considérer l'électricité positive comme partant du métal attaqué pour re dans le liquide, etc. D'ailleurs nous entendons les mots *positif* et *né-* ne un sens indépendant de l'électricité, c'est-à-dire dans le sens absolu périorité du corps positif sur le négatif quant à leur puissance électro-

obtenu le même résultat que moi, en fixant aux extrémités du galvanomètre deux fils d'or plongés dans l'acide nitrique; il n'obtenait ainsi aucun effet, mais en ajoutant une très-petite quantité d'acide hydrochlorique près de la partie immergée de l'un des deux fils, l'aiguille aimantée accusait aussitôt par sa déviation la production d'un courant dirigé à travers le liquide du bout attaqué à celui qui ne l'était pas.

A ce fait fondamental, j'en avais ajouté quelques autres, savoir qu'un couple de *platine* et *palladium* inactif dans l'acide sulfurique étendu devient actif dès qu'on verse dans la solution acide quelques gouttes d'acide nitrique qui déterminent une action chimique sur le palladium; il en est de même d'un couple *rhodium* et *platine*, dont l'action est nulle dans l'acide nitrique pur, et qui donne un courant dans l'eau régale qui attaque le platine.

Ce n'est pas tout; après avoir montré qu'il n'y a pas de courant, quand dans un couple il n'y a d'action chimique de la part du liquide, ni sur l'un ni sur l'autre des deux métaux du couple, j'avais fait voir que le sens du courant change dans un même couple, quand on substitue au liquide qui attaque plus le premier des deux métaux que le second, un liquide qui attaque plus le second que le premier. Parmi les exemples nombreux de ces inversions que j'avais trouvés, je citerai celui où les deux liquides employés sont aussi peu différents que possible l'un de l'autre, puisque l'un est de l'acide nitrique concentré, et l'autre de l'acide nitrique étendu. Le tableau qui suit se compose de deux colonnes dans lesquelles sont inscrits les uns au-dessous des autres les mêmes métaux, dans un ordre tel que chaque métal détermine le sens du courant quand il forme un couple avec chacun de ceux qui le précèdent, ou est positif par rapport à eux. Les métaux de la première colonne sont plongés dans l'acide nitrique concentré, ceux de la seconde dans l'acide nitrique étendu. Or l'ordre des métaux n'est point semblable dans les deux colonnes, parce que l'action chimique de l'acide nitrique concentré sur les divers métaux n'est point la même que celle de l'acide étendu; mais dans chacune c'est toujours le métal le plus attaqué qui détermine le sens du courant.

Acide nitrique concentré.	Acide nitrique étendu.
Fer oxydé.	Argent.
Argent.	Cuivre.
Mercure.	Fer oxydé.
Plomb.	Fer.
Cuivre.	Plomb.
Fer.	Mercure.
Zinc.	Étain.
Étain.	Zinc.

dégagement de l'électricité était dû au contact des deux , la direction du courant serait indépendante de la na- liquide interposé entre eux, et par conséquent l'ordre aux serait le même dans les deux colonnes. Il y aurait lement avoir production d'un courant dans les cas que ons cités plus haut, où ce endant il n'y en avait pas, aucune action chimique n'était rente.

lay, qui a fait une série t m euse d'expériences ıjet, a généralisé le résultat auquel j'étais parvenu, en ıt que pour exciter un courant dans un couple, il faut quide soit un électrolyte, et que de plus cet électrolyte ıne action chimique sur l'un ou sur l'autre des deux du couple, le sens du courant dépendant toujours de s deux métaux qui est le plus attaqué. Pour prévenir on que l'absence du courant pourrait provenir de l'im- conductibilité du liquide électrolytique employé, il n'a ;e que de liquides capables de conduire le courant d'un thermo-électrique bismuth et antimoine, savoir : du *de potassium*, de l'*a- eux*, de l'*acide nitri-* , de l'*acide sulfurique é* et une *solution con- de potasse*, ces trois ı liquides conduisant ien que les deux pre- Il opère en plaçant le électrolytique dans

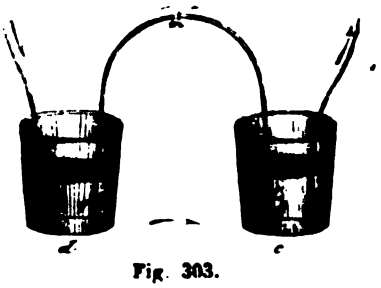


Fig. 303.

erres, comm nt chacun au moyen d'une lame

de platine avec les extrémités du galvanomètre; puis il réunit les deux verres par un arc *p q*, formé des deux métaux du couple qu'il veut éprouver; ces deux métaux étant unis métalliquement en *m* par des fils de même nature que chacun d'eux (fig. 303).

Avec le sulfure de potassium le courant a été nul en y plongeant successivement des couples fer et platine, fer et or, fer et palladium, nickel et or, nickel et palladium, platine et or, platine et palladium; ce qui tient à ce qu'aucune action chimique n'avait lieu dans ces diverses combinaisons. Il suffit cependant de chauffer le point de contact *m* des deux métaux du couple qui forment l'arc pour obtenir un courant thermo-électrique, qui fait dévier l'aiguille du galvanomètre de 50 à 60°.

Dans ces expériences, il arrive quelquefois qu'il y a production d'un léger courant au moment de l'immersion des lames du couple dans les vases remplis du liquide; avec le couple platine et fer le courant part du platine; mais Faraday s'est assuré que cet effet tient à ce que le fer est quelquefois légèrement oxydé; il suffit également de retirer l'une des lames du liquide et de l'exposer à l'air un moment, pour obtenir un courant qui ne dure que quelques instants, quand on la replonge. Ces diverses causes de perturbation sont sensibles à cause de l'excellent pouvoir conducteur du liquide employé et de la sensibilité des appareils; mais elles disparaissent si on a soin de ne point déranger les lames du couple une fois qu'elles sont plongées dans la solution, et le tout acquiert alors un état naturel et parfaitement régulier. M. Ohm, qui a soumis à un examen tout particulier le cas du couple fer et platine dans le sulfure de potassium, attribue la nullité d'effet à la formation presque instantanée d'une mince couche de sulfure de fer sur la surface de ce métal dès qu'il est immergé.

L'acide nitreux hydraté, le mélange d'acide nitrique et nitreux, une solution concentrée de potasse, sont également inactifs avec un grand nombre de couples. L'argent et le platine, qui donnent un fort courant avec la solution la plus légèrement acide, n'en donnent aucun avec la solution de po-

; il suffit cependant de chauffer légèrement leur point
tact pour avoir un courant très-prononcé dû à la thermo-
icité.

st inutile maintenant de remarquer que lorsqu'avec ces
s liquides, on se sert de couples qui donnent naissance à
urant, on peut toujours constater l'existence de l'action
que sur l'un des métaux du couple. Mais quand le liquide
sulfure de potassium, il y a production d'un sulfure qui
sur le métal attaqué tantôt une couche non conductrice,
e sur le cadmium et l'étain, par conséquent imperméable
urant; tantôt, au contraire, une couche conductrice,
on soluble, ce qui arrête également le courant puisque
n chimique cesse, comme avec le plomb et le bismuth;
une couche non conductrice, mais soluble, comme avec
, ce qui permet au courant de continuer à exister.

phénomène assez curieux, observé encore par Faraday,
nversion qui a lieu dans le sens du courant du couple
et argent plongé dans la solution du sulfure. Le cuivre
bord celui d'où part le courant, et l'argent n'est point
puis l'action cesse, et c'est l'argent qui donne nais-
au courant et qui se couvre de sulfure, tandis que la
qui avait été formée sur le cuivre se dissout; peu d'ins-
près, le cuivre redevient positif, et ainsi le sens du cou-
t l'action chimique changent simultanément plusieurs
suite. Du reste, Faraday a trouvé un grand nombre
ples d'inversion dans le sens du courant que produit
ne couple, suivant le liquide dans lequel on le plonge,
te qu'il a complétement confirmé le principe que j'avais
, savoir, que la série voltaïque des métaux n'est point abso-
ais qu'elle dépend de la nature du liquide employé comme
nt. Voici un tableau qui renferme les résultats d'expé-
s faites avec sept liquides et dix métaux différents, et qui
mposé de sept colonnes dans chacune desquelles les mé-
ont rangés suivant un ordre variable avec le liquide em-
. Chaque métal est affecté d'un numéro qui indique l'ordre
lequel il doit être placé si le liquide employé est un acide
le, le sens du courant étant toujours tel que le métal qui

suit est celui qui détermine le sens du courant quand il forme un couple avec l'un de ceux qui précèdent.

Acide nitrique étendu.	Acide sulfurique étendu.	Acide hydrochlorique.	Acide nitrique concentré.	Dissolution de potasse caustique.	Hydrosulfure de potasse incolore.	Hydrosulfure de potasse jaune
1 argent.	1 argent.	3 antimoine.	5 nickel.	1 argent.	6 fer.	6 fer.
2 cuivre.	2 cuivre.	1 argent.	1 argent.	5 nickel.	5 nickel.	5 nickel.
3 antimoine.	3 antimoine.	5 nickel.	3 antimoine.	2 cuivre.	4 bismuth.	4 bismuth.
4 bismuth.	4 bismuth.	4 bismuth.	2 cuivre.	6 fer.	8 plomb.	3 antimoine
5 nickel.	5 nickel.	2 cuivre.	4 bismuth.	4 bismuth.	1 argent.	8 plomb.
6 fer.	6 fer.	6 fer.	6 fer.	8 plomb.	3 antimoine.	1 argent.
7 étain.	8 plomb.	8 plomb.	7 étain.	3 antimoine.	7 étain.	7 étain.
8 plomb.	7 etain.	7 étain.	8 plomb.	9 cadmium.	2 cuivre.	9 cadmium
9 cadmium.	9 antimoine.	9 cadmium.	10 zinc.	7 étain.	10 zinc.	2 cuivre.
10 zinc.	10 zinc.	10 zinc.	9 cadmium.	10 zinc.	9 cadmium.	10 zinc.

M. Faraday a encore fait un très-grand nombre d'expériences en provoquant une action chimique, et par conséquent un courant électrique, au moyen de la chaleur appliquée à l'un des métaux d'un couple ; il a plus particulièrement examiné le cas où le couple étant formé de deux mêmes métaux, on chauffe l'un des deux et non pas l'autre, au moment de le plonger dans le liquide. Il est clair qu'il en résulte une différence dans l'action chimique du liquide sur les deux métaux ; mais ce sont des effets complexes, parce que le liquide éprouve souvent lui-même une altération chimique par l'action de la chaleur, et qu'il faut avoir égard aux courants thermo-électriques qui ont également lieu quelquefois dans ce cas ; nous ne nous y arrêtons donc pas actuellement, devant revenir sur ce sujet plus loin.

Mais un point essentiel, établi par M. Faraday, sur lequel nous

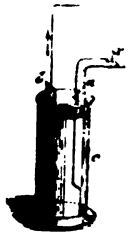


Fig. 304.

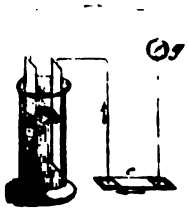


Fig. 305.

devons insister, c'est la possibilité d'obtenir un courant capable d'opérer même une décomposition chimique, avec un seul métal

is à une action chimique, sans l'intervention, par consé-
t, d'un contact métallique entre deux métaux hétérogènes.
obtenir ce résultat, on plonge dans de l'eau acidulée une
de platine *b* (fig. 304) et une lame de zinc *ac* recourbée
ontalement dans la partie extérieure au liquide; un mor-
de papier de tournesol, humecté d'une solution d'iodure
tassium, est placé sur la lame de zinc en *x*, et le bout
fil de platine *s* soudé à la lame du même métal est mis
ment en contact avec ce papier. L'iodure est aussitôt dé-
osé, ce qui montre que le courant qui produit cette dé-
osition ne résulte que de l'action chimique sur le zinc,
l n'y a pas de contact métallique entre le zinc et le platine.
solution de potasse substituée à la solution acide produit
me effet. Si l'on introduit dans le circuit le fil d'un multi-
leur *g* (fig. 305[1]) l'aiguille est déviée immédiatement, aussi
ans le premier cas que dans le second. M. Faraday a obtenu
rès-grand nombre de résultats semblables en soumettant
eurs électrolytes à l'action décomposante du courant pro-
par divers métaux plongés dans différents liquides où
eait également une lame de platine destinée à unir le
le excitant avec le liquide à décomposer, comme dans
rience que nous venons de rapporter, sans qu'il y eût con-
ntre les deux métaux. Voici un tableau de ces résultats,
lesquels sont inscrites dans la même ligne horizontale les
e substances comprises dans les circuits, savoir : 1° le mé-
taqué; 2° le liquide excitant; 3° le métal non attaqué, ou
s attaqué, qui sert de conducteur; 4° le liquide électro-
ie, qui est décomposé.

Acide nitrique étendu	Platine	Sulfure de potassium	Cour. prononcé
Id.	*Id.*	Acide nitrique rouge	*Id.*
Id.	*Id.*	Acide nitriq. pâle fort	Passable
Id.	*Id.*	Acide nitreux vert	Très-énergique

ans la fig. 305 un fil de platine est soudé au zinc *z*, et ce fil est uni avec
qui part du platine au moyen du papier *c* humecté de la solution électroly-
Cet appareil qui a servi aux expériences dont le résultat est renfermé
tableau qui suit.

Fer	Acide nitrique étendu	Platine	Iodure de potassium	Cour. prononcé
Id.	Acide sulfuriq. étendu	*Id.*	Sulfure de potassium	*Id.*
Id.	*Id.*	*Id.*	Acide nitrique rouge	Passable
Id.	Acide muriatique	*Id.*	Acide nitreux vert	Très-énergique
Id.	Acide muriatiq. étendu	*Id.*	Acide nitrique rouge	Passable
Id.	*Id.*	*Id.*	Sulfure de potassium	*Id.*
Id.	Dissolution de sel	*Id.*	Acide nitreux vert	Très-énergique
Id.	Eau ordinaire	*Id.*	*Id.*	Passable
Zinc	Acide nitrique étendu	*Id.*	Iodure de potassium	*Id.*
Id.	Acide muriatique	*Id.*	*Id.*	*Id.*
Cadmium	Acide nitrique étendu	*Id.*	*Id.*	*Id.*
Id.	Acide muriatique	*Id.*	*Id.*	*Id.*
Plomb	Acide nitrique étendu	*Id.*	*Id.*	*Id.*
Id.	Acide muriatique	*Id.*	*Id.*	*Id.*
Cuivre	Acide nitrique étendu	*Id.*	*Id.*	
Id.	Acide muriatique	*Id.*	*Id.*	
Plomb	Acide sulfurique fort	Fer	Acide sulfuriq. étendu	Fort
Étain	*Id.*	*Id.*	*Id.*	*Id.*
Cuivre	Sulfure de potassium	*Id.*	Acide nitrique étendu	Énergique
Id.	*Id.*	*Id.*	Iodure de potassium	*Id.*
Id.	Acide nitrique fort	Fer	Acide nitrique étendu	Très-énergique
Id.	*Id.*	*Id.*	Iodure de potassium	
Argent	*Id.*	*Id.*	Acide nitrique étendu	Fort
Id.	*Id.*	*Id.*	Iodure de potassium	Passable
Id.	Sulfure de potassium	*Id.*	Acide nitrique étendu	Fort
Étain	Acide sulfurique fort	Cuivre	Acide sulfuriq. étendu	*Id.*

Déjà plusieurs physiciens, et notamment Davy, avaient montré qu'on pouvait former des batteries voltaïques avec un seul métal et deux liquides ; mais ils n'avaient jamais construit un seul couple, et surtout la nature de ces phénomènes n'avait point été éclaircie.

Dans le tableau que nous avons transcrit plus haut, on peut remarquer que le liquide excitant varie avec le liquide électrolytique à décomposer. En effet, pour que la décomposition ait lieu, il faut que l'action du premier liquide sur le zinc soit plus forte que celle du second, afin que le courant qui en résulte puisse l'emporter sur les affinités du liquide électrolytique, et les modifier. Ainsi on ne peut décomposer l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique, au moyen d'un couple zinc et platine plongé dans une eau acidulée semblable, tandis qu'on

npose une solution d'iodure de potassium et de chlorure ent fondu.

e dissolution de soude, d'acide hydrochlorique, de nitrate ent, de l'iodure et du chlorure de plomb fondus, résistent te force décomposante; mais ils sont décomposés si on e à l'acide sulfurique étendu qui sert de liquide excitant, eu d'acide nitrique qui augmente la puissance chimique liquide sur le zinc.

us avons déjà remarqué, à l'occasion de l'électricité dégagée forme de tension, qu'il n'y avait pas de rapport entre la ité de l'action chimique et l'intensité des signes électri- auxquels elle donne naissance. La même observation est icable à l'électricité produite sous forme de courant; c'est it la nature de l'action chimique que sa vivacité, qui influe l'intensité de la manifestation électrique. Il ne résulte pas que la quantité d'électricité dégagée ne soit pas en rapport la quantité d'action chimique qui a lieu; nous verrons au aire, plus loin, que ces deux quantités sont exactement rtionnelles l'une à l'autre; mais la faculté que cette élec- possède de surmonter une certaine résistance, ou ce que lay a appelé son *intensité*, qualité qu'il ne faut pas con- e avec la *quantité*, varie avec la nature de l'action chi- e qui a lieu sur le métal attaquable du couple. Remar- s encore que la proportion plus ou moins grande des deux icités qui se recomposent immédiatement sur la surface tal attaqué, doit nécessairement être inverse de celle qui ansmise à travers le circuit, et par conséquent varier pour ouple donné avec la résistance de ce circuit. Toutefois, neutralisation immédiate des deux principes électriques, . Faraday a appelée *action locale*, tient à une autre cause ous devons chercher à analyser.

ais déjà remarqué en 1830 que du zinc distillé parfaite- ur, plongé dans de l'acide sulfurique étendu, est à peine , surtout dans les premiers moments de son immersion, nne naissance, même lorsque l'action a duré un temps ong, qu'à un petit nombre de bulles d'hydrogène, tandis zinc ordinaire du commerce, placé dans les mêmes cir-

constances, produit une énorme quantité d'hydrog
dégage avec effervescence. Toutefois, uni voltaïque
platine, le premier zinc donne à surface égale u
plus fort, et par conséquent dégage plus d'hydrog
second. La cause de cette différence tient à ce que
commerce renferme toujours une petite proportion d
et surtout de fer, ainsi que le prouve l'analyse ch
suffit, en effet, de mélanger directement un dixièm
moins, de fer en poudre très-fine au zinc distillé, pou
capable de dégager autant et même plus d'hydrog
zinc du commerce, quand on le plonge dans l'eau a
phénomène est donc évidemment électro-chimique,
prouve encore, c'est que la dissolution d'acide sulf
donne avec le zinc dans lequel il y a du fer, comme a
du commerce, le dégagement gazeux le plus abond
même que celle qui a le pouvoir conducteur le plu
l'électricité, savoir : la dissolution de la densité 1,25

Il est donc évident qu'il s'établit sur la surface d
renferme des particules ou de fer ou d'un métal moin
que le zinc lui-même, des courants provenant des
couples que forment les particules de fer avec les pa
zinc qui les touchent. Ces courants décomposent l'
traversent; le zinc s'oxyde et se dissout à l'état de
l'hydrogène se dégage partout où il y a quelques p
fer en contact avec le liquide. M. Sturgeon, en explor
face d'une plaque de zinc plongée dans l'acide
étendu, y a constaté l'existence de ces pôles négatifs
gent fréquemment de place pendant la durée de l'a
mique en raison du dépôt d'oxyde, de la texture du
Les points qui servent de pôles négatifs n'éprouva
altération, on conçoit pourquoi une lame de zinc d
gueuse après une longue immersion dans un liquid
taque. Le fer n'est pas le seul métal dont la présenc
zinc produise cet effet : le cuivre, le plomb, même l'
cadmium, tous moins oxydables que le zinc, le dé
également, mais à un moindre degré, surtout ces deux
On peut même en implantant artificiellement, sur l

morceau de zinc distillé, une multitude de petites pointes
time, produire un dégagement gazeux très-considérable,
lieu aux extrémités de ces pointes, quand on plonge tous
tits couples dans la dissolution d'acide sulfurique[1]. On
nit le même effet sur le cadmium qui, lorsqu'il est pur
lé, jouit de la même propriété que le zinc distillé.

peut donner au zinc ordinaire la propriété du zinc dis-
le n'être que peu ou point attaqué quand il est plongé
l'eau acidulée avec l'acide sulfurique; il suffit pour cela
lgamer sa surface, opération facile à faire, car il n'y a
frotter la surface du zinc avec un tampon imprégné d'une
lution d'acide sulfurique pour la décaper, en étendant le
tre en même temps sur cette surface. Mise en contact avec
me de zinc ordinaire dans la dissolution acide, la lame
nc amalgamé forme, comme le zinc distillé, un couple
lle est aussi l'élément oxydable, quoique, lorsqu'elle est
, elle ne soit presque pas attaquée par la dissolution. Mais
la fait communiquer avec un fil ou une lame de platine,
ne se dissout rapidement avec un fort dégagement d'hy-
ne sur le platine; le même effet a lieu exactement avec
e distillé. Il est évident que cette similitude d'effets
ce que le lavage avec l'acide sulfurique étendu et l'amal-
ion qui le suit, fait disparaître de la surface du zinc du
rce toutes les impuretés qui s'y trouvaient mélangées,

[1] A une cause semblable qu'on peut attribuer l'influence qu'exerce, d'a-
bservations de M. E. Millon, sur la décomposition de l'eau par le zinc, la
dans la dissolution acide ou saline dans laquelle le zinc est plongé, de
quantités d'un sel métallique. Ainsi l'addition d'un peu de bichlorure de pla-
l'acide sulfurique étendu, fait perdre à une lame de zinc 4 g, 298 de poids,
même temps où une lame semblable dans le même acide pur ne perdait
,022. Il est évident qu'il s'opère une précipitation d'un peu de platine sur
points de la surface du zinc, d'où résulte la formation de couples vol-
Ils en effet, l'intensité de l'effet varie avec la nature de la dissolution
, et par conséquent du métal déposé; ainsi elle est plus forte avec le
de platine qu'avec le sulfate de cuivre. L'étain et le fer présentent des
ns analogues à ceux qu'offre le zinc. Remarquons que, quoique tous
bservés par M. E. Millon ne puissent pas s'expliquer exactement de la
ière, ils tiennent cependant tous à des causes électro-chimiques.

telles en particulier que les petites molécules de fer. Au fond il s'opère une véritable dissolution de zinc pur dans le mercure, qui recouvre comme d'une couche liquide la surface de la plaque de zinc. Or le zinc pur allié avec le mercure ne peut pas être plus attaqué que le zinc pur isolé, car le mercure dans ce cas ne forme pas avec les molécules de zinc des couples, comme peuvent le faire des particules de fer simplement disséminées dans le métal et non alliées avec lui; le mercure joue ici le rôle d'un simple dissolvant. Seulement, dès que, par son contact avec le platine, le zinc amalgamé forme un couple, l'attraction du mercure par le zinc n'est pas plus puissante que la cohésion qui retient les unes aux autres les particules du zinc simplement distillé, pour empêcher que l'eau acidulée n'oxyde et ne dissolve le métal dans ce cas comme dans l'autre. Faraday, qui a fait un grand nombre d'expériences sur ce sujet, a trouvé que de deux plaques de zinc amalgamées, mises chacune séparément sous une éprouvette remplie d'une dissolution d'acide sulfurique, dont l'une était isolée, tandis que l'autre était en contact avec une lame de platine, dans le même temps la première n'avait presque pas perdu de son poids en ne dégageant que très-peu d'hydrogène, tandis que la seconde avait perdu plusieurs grammes en dégageant une quantité équivalente d'hydrogène sur le platine.

Mais il se présente ici une question bien plus importante : comment se fait-il que le zinc amalgamé ou le zinc distillé, ce qui revient au même, qui ne sont que peu ou point attaqués par l'eau acidulée, le soient si fortement quand ils sont unis, au moyen d'un conducteur, avec un métal peu ou point oxydable plongé dans le même liquide, et donnent naissance alors à un courant bien plus fort que celui que produit dans les mêmes circonstances le zinc du commerce si fortement attaqué ?

Remarquons d'abord que l'action qu'éprouve ce dernier zinc ne peut point contribuer à la formation du courant du couple, puisqu'elle provient uniquement des courants superficiels produits par les couples moléculaires, courants qui ne parcourent point le circuit. Au contraire, ces courants qui consomment inutilement du zinc diminuent d'autant la force du courant prin-

du couple; et c'est pourquoi, à surface égale, une plaque
e amalgamé ou distillé donne un courant plus énergique
e plaque de zinc du commerce, et est positive par rapport
e dernière quand elle forme un couple avec elle.

point établi, nous pouvons considérer comme un principe
ntré par l'expérience qu'une particule de zinc parfaite-
pur, ne présentant aucune trace d'oxydation, est inca-
de décomposer l'eau quand elle est placée isolément
une dissolution d'acide sulfurique[1]. Mais si on la met
ntact avec une particule moins oxydable qu'elle et con-
ice, telle qu'une particule de platine, de fer, de cuivre, ou
avec une particule de son propre oxyde, l'eau se décom-
et un courant électrique est produit. Ce courant est molé-
re dans ce cas; mais son circuit est d'une grandeur finie,
l, au lieu de deux molécules, ce sont deux fils, deux
en contact et formant un arc, qui sont dans le même
le. La production du courant est simultanée avec l'action
que; elle ne lui est ni antérieure ni postérieure; elle ne
t pas postérieure, puisqu'il n'y a pas d'action chimique
la formation du couple; elle ne lui est pas antérieure,
ne le courant ne peut s'établir qu'autant que le couple
que est chargé avec un liquide électrolytique susceptible
quer l'un de ses métaux, et non avec un liquide électroly-
quelconque, quelque bon conducteur qu'il soit, ainsi que
prouvé surabondamment les nombreuses expériences que
avons rapportées plus haut.

st à M. Schoenbein, qui a trouvé plusieurs combinaisons
iques où l'action chimique ne préexiste pas à l'action vol-
e, que nous devons la première idée de la théorie qui rend
te de ces phénomènes, théorie qui se rapproche beaucoup
manière dont Faraday les envisage, et qui est d'accord avec
que nous avons exposée sur la constitution électro-molé-
re des corps.

1. d'Almeida a dernièrement confirmé ce principe, en préparant par la me-
galvano-plastique du zinc aussi pur que possible; la lame se montra inat-
ble dans l'acide sulfurique étendu seulement de neuf fois son volume d'eau,
bilat plusieurs heures pour la dissoudre dans l'acide bouillant.

Nous supposons dans ce qui va suivre qu'il s'agit du zinc et de l'eau; il est clair qu'il en sera de même de tout métal et

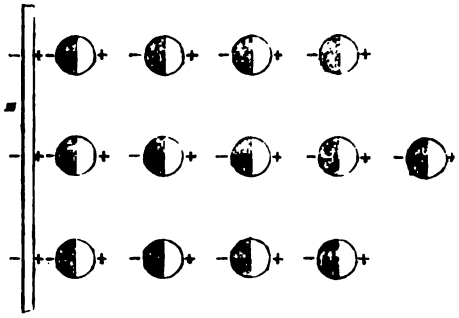


Fig. 306.

de tout liquide électrolytique, dont l'un des éléments est susceptible de se combiner avec ce métal. Quand le zinc z est plongé dans l'eau (fig. 306), ses molécules polarisent chacune des molécules d'eau qui les touchent, celles-ci les suivantes, et ainsi de suite, de manière qu'il part de la surface du zinc autant de filets de molécules d'eau polarisées qu'il y a de points à cette surface. Chacune des molécules de ces filets présente son oxygène négatif du côté du zinc, et son hydrogène positif de l'autre côté, tandis que la molécule de zinc a son électricité positive du côté où elle est en contact avec la molécule

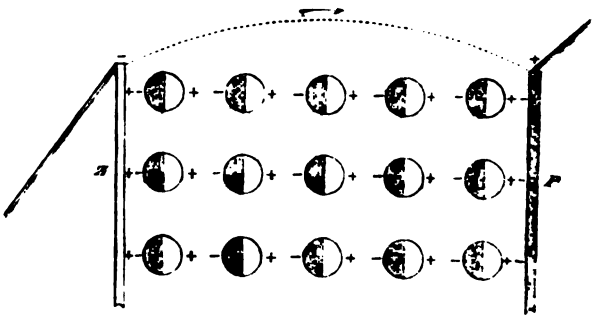


Fig. 307.

d'eau, et sa négative de l'autre. Cet état de polarisation ou de tension ne cesse qu'au moment où, en faisant communiquer le

'eau avec le sol ou avec les plateaux d'un condensateur, 'ient au même, on donne un écoulement à l'électricité lu zinc, ainsi qu'à la positive de celles des particules sont en contact avec le conducteur, lequel peut être e l'observateur ou une lame P de platine qui les dé- g. 307)[1]. Au même instant, l'oxygène de la particule rontact avec le zinc se combine avec lui, en donnant : neutralisation de leurs deux électricités contraires; ne de cette première particule d'eau se combine avec de la seconde, et ainsi de suite jusqu'à l'hydrogène icule en contact avec le conducteur P, qui se dégage à de ce conducteur. La même théorie s'applique au ic qui renferme des substances hétérogènes, telles que ules de fer. On peut voir (fig. 308) les courants locaux qui s'établissent sur la surface du zinc, et qui, partant des molécules de zinc les plus voisines des particules de fer F, viennent y aboutir en y dégageant l'hydrogène.

Il y a donc quatre phénomènes distincts, mais simultanés, quand on plonge dans un vase rempli d'eau une lame de zinc mise en communication avec le plateau d'un condensateur, et une lame de platine en communication avec l'autre plateau du même condensateur ou avec le sol : 1° charge négative donnée au plateau qui communique avec le zinc; 2° oxydation de la surface du zinc; 3° dégagement de l'hydrogène à la surface du platine; 4° écoulement de l'électricité positive dans le sol ou dans le plateau qui communique avec le platine.

. 308. La quantité d'action chimique qui corres- aque charge du condensateur est infiniment faible:

e ponctuée *a b* représente un fil métallique qui unit le zinc et le pla-

mais, en opérant un très-grand nombre de décharges s
ves, on finit par apercevoir l'oxydation du zinc à la pe
éprouve, mais surtout la présence de l'hydrogène à ce qu
de platine est polarisée. J'ai réussi à constater cette pola
en plongeant dans l'eau acidulée deux lames de platir
tement semblables, et en m'assurant, au moyen d'un
mètre bien sensible, qu'elles ne donnaient naissance
courant; puis j'ai plongé dans le liquide une lam
que j'ai mise en communication avec l'un des plateau
densateur, pendant que je faisais communiquer l'une
de platine *a* avec l'autre plateau ou avec le sol, en a
que la seconde lame *b* demeurât bien isolée. Après
chargé et rechargé ainsi plusieurs fois de suite le cond
j'ai uni respectivement les deux lames de platine avec
bouts du galvanomètre, et j'ai obtenu un courant do
indique que la lame de platine *a* a été polarisée posi
et par conséquent recouverte d'une couche mince d'h
Si c'est la lame *b* qui communique avec le sol ou avec
plateau du condensateur, et la lame *a* qui est isolé
lame *b* qui est polarisée positivement [1].

tine; la seule différence entre ce cas et celui qui nous occupe, c
un courant continu, au lieu d'une suite de décharges; aussi l'oxyda
et la polarisation du platine sont obtenus beaucoup plus promptemen

[1] Cette expérience que j'ai répétée plusieurs fois, toujours avec su
qu'il ne peut pas y avoir production même d'électricité de tens
couple voltaïque, sans qu'il y ait une action chimique correspondante
en la faisant sous une forme un peu différente, à rendre compte d
M. Foucault avait observé et qu'il avait cru à tort être favorable à l'
liquides ont pour l'électricité une conductibilité physique analogue
métaux, indépendamment de leur conductibilité électrolytique. Voic

Dans une auge rectangulaire sont disposées verticalement et à ena
d'un centimètre, onze plaques de cuivre enveloppées de baudruche o
à filtrer; sur les bords de la caisse est posée une traverse en bois
plaques de zinc amalgamées qui viennent s'intercaler parmi les cu
ces plaques, cuivre et zinc, sont séparées et ne communiquent ent
par le liquide acidulé que l'on verse dans l'auge, et dont le niveau
une ligne ponctuée s'élève très-peu au-dessus du bord libre des lames
les zincs seuls émergent par les prolongements étroits qui les rel
support commun; enfin les deux cuivres extrêmes sont mis en com

uand le zinc n'est pas pur, les particules de la surface où a du fer ou quelque autre substance moins oxydable que nc, produisent le même effet que le platine. Les filets d'eau risés aboutissent à ces points (fig. 308), et il y a là un dé- ment d'hydrogène : ce sont ces courants moléculaires qui tituent l'action locale. Il est probable que c'est ainsi que sse dans bien des cas l'action chimique d'un liquide sur métal ; car lorsqu'on peut préserver la surface d'un métal

fil d'un galvanomètre. Lorsque les zincs occupent les milieux des cellules, anomètre reste au 0°, mais dès qu'on imprime un déplacement à la traverse ns sens ou dans l'autre, les zincs sont tous à la fois reportés du même côté, n résulte un courant qui va des cuivres les plus rapprochés aux zincs dans tour de l'auge, et par conséquent du cuivre le plus éloigné à celui qui en plus rapproché, au dehors de l'auge. Or, il m'a été facile de prouver que et ne tient qu'à ce que les cuivres sont tous polarisés positivement sur celles rs faces qui sont tournées du côté du zinc le plus près.

effet, si je prends deux lames de cuivre, ou mieux encore deux plaques lme, que je les plonge aux deux extrémités d'une auge en verre bien isolée pine d'eau très-légèrement acidulée, en ayant soin que les fils conducteurs qui t de ces plaques soient tenus par des manches isolants, je n'obtiens aucun nt au galvanomètre en le faisant communiquer avec ces fils conducteurs, les plaques ne sont pas polarisées, lors même que je plonge entre elles me de zinc tenue également par un manche isolant, soit que je mette la nactement entre les deux plaques de platine, soit que je la place tout près me ou de l'autre. Si je fais communiquer la lame de zinc avec le sol me les deux plaques de platine, je n'ai encore aucun courant sensible, ne je mets la lame de zinc bien exactement au milieu ; mais si je rapproche de l'une des plaques de platine, j'en obtiens un dans lequel cette plaque sitive. Il est évident que dans ce cas l'électricité négative du zinc étant rgée dans le sol, la positive du liquide s'échappe par la plaque de platine s rapprochée, en dégageant sur sa surface l'hydrogène qui provient de la mposition électrolytique de l'eau ; cette légère couche d'hydrogène, en pola- la plaque, la rend positive par rapport à la plaque la plus éloignée qui, à de la plus grande étendue du liquide dont le zinc est séparé d'elle, n'a pas rvir à la décharge. Il faut, pour rendre le phénomène plus sensible, enve- r le zinc de papier à filtrer, afin de pouvoir le rapprocher le plus possible le liquide de l'une ou de l'autre plaque de platine, tout en évitant le contact laque. C'est une chose remarquable de voir qu'il suffit que la lame de zinc s deux plaques de platine soient isolées pour qu'il n'y ait plus trace de nt ; seulement il faut bien s'assurer, avant chaque expérience, que les s de platine ne sont pas polarisées, et par conséquent n'agissent pas sur le nomètre quand elles sont seules dans le liquide.

de toute impureté, on n'a pas d'action chimique, sauf avec les corps éminemment oxydables tels que le potassium.

On conçoit que, lorsque le zinc est assez pur, soit parce qu'il est distillé, soit par l'effet de l'amalgamation pour qu'il n'y ait pas d'action locale, le nombre des particules qui, à surface égale, servent à l'action efficace est bien plus grand, ce qui explique la supériorité du zinc pur sur le zinc ordinaire, que nous avons signalée plus haut. Cette différence, très-sensible pour les effets dynamiques, ne l'est que peu ou point pour les effets de tension, qui n'exigent que bien peu d'action chimique; c'est ce qui explique une anomalie apparente observée il y a longtemps par MM. Ampère et Becquerel, mais signalée dernièrement sous une forme différente et plus frappante par M. Matteucci, auquel nous l'empruntons. On plonge une lame de zinc amalgamé de trois centimètres carrés de surface, dans de l'eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique, et une lame de platine dans une solution semblable, séparée seulement de la première par un diaphragme poreux. La première lame est en communication avec le condensateur; elle ne donne aucun signe de tension avant que la seconde communique avec le sol; mais dès que cette communication est établie, les feuilles d'or de l'électroscope indiquent une divergence de 10°. En répétant plusieurs fois l'expérience, on obtient la même divergence; alors on plonge dans le compartiment où se trouve la lame de platine un fil également de platine qui est en contact avec la lame de zinc; l'hydrogène se dégage immédiatement sur ce fil, et cependant les signes de tension sont les mêmes qu'auparavant. Or, on n'a pas fait autre chose que ce que ferait une petite action locale, c'est-à-dire qu'on a employé une partie du zinc de la lame à produire le courant qui résulte de l'addition du fil de platine, mais il reste plus de zinc qu'il n'en faut pour subvenir à la tension, et on en aurait la preuve dans le fort courant qui serait produit, nonobstant la présence du fil de platine, si on réunissait métalliquement le zinc à la lame de platine. Le résultat est le même, sauf quant aux signes électriques qui de négatifs deviennent positifs, lorsqu'on fait communiquer avec le condensateur la

de platine, et avec le sol la lame de zinc unie toujours au
ide par le fil de platine qui lui est soudé.
ns la théorie que nous venons d'exposer, nous avons admis
le conducteur associé au zinc était tout à fait inactif, que
it une lame de platine; les choses se passent de même s'il
ttaquable par le liquide, si c'est une lame de cuivre ou de
ar exemple; seulement la polarisation du liquide opérée
le zinc est diminuée en intensité de la force de la polarisa-
contraire que détermine l'affinité chimique de l'oxygène
au pour le cuivre ou pour le fer. Si les deux polarisations
parfaitement égales, il est clair que l'une détruit l'autre.
il peut arriver que la substance conductrice associée au
au lieu d'avoir de l'affinité pour l'oxygène, en ait pour
rogène de l'eau, alors la force polarisante du zinc sur le
liquide interposé entre le conducteur et lui, loin d'être
ée, est au contraire augmentée, et le courant acquiert
une intensité bien plus grande. C'est ce qui arrive quand
ouvre la lame de platine d'une couche de peroxyde de
b, substance dont l'affinité pour l'hydrogène de l'eau est
grande, à cause de sa tendance à se désoxyder. L'électricité
tive de la lame de zinc et la positive que prend la lame de
ne deviennent bien plus fortes, ainsi que le prouve la charge
ndensateur. J'ai réussi même à obtenir par cette combi-
n un couple capable de décomposer vivement l'eau acidulée
acide sulfurique, dans un voltamètre à fils de platine. Le
yde amené à l'état d'une poudre sèche et fine est tassé avec
ans une auge poreuse en porcelaine dégourdie, telle que
qui servent aux piles de Grove. Une lame mince de platine
ée au milieu de l'auge, de façon qu'elle soit complète-
enveloppée de peroxyde; cette lame porte un appendice
il est soudé un fil conducteur; on plonge l'auge poreuse
de peroxyde et une lame de zinc amalgamé dans une
tion saline ou acide, puis on fait communiquer respec-
nt les lames de zinc et de platine avec les deux fils d'un
ètre; on obtient ainsi jusqu'à dix centimètres cubes de
e gazeux par minute, tandis qu'avec un couple de Grove
ble, sauf que le peroxyde de plomb est remplacé par

l'acide nitrique, on ne produit qu'une décomposition à peine sensible. Seulement l'effet s'affaiblit au bout de quelques moments par l'infiltration d'un peu de sulfate de zinc dans le peroxyde, et par la désoxydation du peroxyde lui-même. Il s'affaiblit plus vite et est beaucoup moins intense quand on remplace le peroxyde de plomb par le peroxyde de manganèse, ainsi que je m'en suis assuré. On obtient cependant dans ce cas 2 cent. cubes de mélange gazeux par seconde[1].

La tendance des peroxydes de plomb et de manganèse à se désoxyder en s'emparant de l'hydrogène de l'eau est assez forte pour qu'on puisse obtenir, soit à l'état de tension, soit à l'état de courant, des signes électriques très-prononcés en plongeant dans une dissolution acide et même dans l'eau pure, une lame de platine et ces peroxydes, soit en morceau, soit à l'état de poudre étendue sur une feuille de platine; c'est ce que Schoenbein a remarqué le premier. Ici la polarité est déterminée par l'élément négatif du couple; la lame de platine donne au condensateur de l'électricité négative, tandis que le peroxyde lui communique de l'électricité positive; et le courant marche dans un conducteur qui réunit extérieurement au liquide ces deux substances, du peroxyde au platine; mais ce courant ne peut être accusé que par son action sur le galvanomètre; il ne peut traverser un voltamètre à eau acidulée étant incapable de décomposer l'eau. Les dissolutions acides, et surtout celles d'acide chlorhydrique, rendent le courant beaucoup plus énergique en facilitant la désoxydation; M. Matteucci, en plongeant dans de l'acide chlorhydrique un fil de platine recouvert de peroxyde de plomb et un fil d'or formant un couple, a obtenu un courant très-fort et la formation d'un chlorure d'or; il n'y avait pas d'effet quand le platine n'était pas recouvert du peroxyde. Si l'on remplace les peroxydes par un morceau de chromate de potasse, on obtient un courant d'une intensité très-remarquable, surtout en employant comme

[1] La surface de la lame de platine était de 100 centimètres carrés environ; celle du zinc était double, la plaque de ce dernier métal étant recourbée pour entourer l'auge poreuse comme dans la pile de Grove.

de interposé entre le chromate et le platine, de l'acide hydrique ou de l'acide nitrique; on sait qu'il y a une ydation du chromate de potasse. M. Poggendorff a égale- observé qu'une lame de cuivre dont la surface est oxydée e comme le peroxyde de plomb la production du cou- quand elle forme un couple avec le zinc dans l'acide sul- ne étendu.

Becquerel avait déjà avant moi obtenu des courants élec- es avec un couple platine et peroxyde de manganèse; mais s'était servi que d'eau pure et n'avait pas employé d'autres ydes; il avait trouvé que l'effet se manifeste sous forme espèce de décharge qui a besoin, pour se renouveler, que cuit soit interrompu quelques instants, et qui est d'autant intense que cette interruption a duré plus longtemps. Ce tat tient probablement à l'im rfaite conductibilité élec- e du liquide employé et à l fai e action chimique qu'il e. M. Becquerel avait ég nt produit des effets de on au condensateur en le to nt avec une lame de pla- ur laquelle était placé du xyde de manganèse, tenu les doigts; nous verrons q ce la même cause.

Munck, en comparant sous ort erses substances tives, avait obtenu les résultats s, qui montrent la riorité des peroxydes, en fa it co nuniquer avec le ensateur de cuivre, au moyen d'un pier humecté, les ses substances dont les noms suiv et qu'il touchait une lame de zinc tenue entre ses doigts :

Zinc mis en contact avec :	Degrés de tension négative.
Cuivre	4°
Argent	4° ½
Charbon	4° ½
Or	5°
Sulfure noir de mercure	5° ½
Pyrite	6°
Peroxyde de manganèse	6° ½
Peroxyde de plomb	9° ½

omme nous le verrons plus loin, l'humidité de la main sur le zinc le rôle de l'eau et tend, par conséquent, à lui

donner l'électricité négative, tandis que la positive va dans le sol par corps de l'observateur; le cuivre, l'argent, le charbon et l'or ne jouent que le rôle de conducteurs, tandis que l'action du papier humide sur les dernières substances du tableau ajoute son effet à celui de l'oxydation du zinc, puisque cette action tend à donner au papier, et par conséquent au condensateur, de l'électricité négative. Du reste, nous reviendrons sur ces phénomènes un peu complexes, quand nous examinerons la question du développement de l'électricité par le contact.

Il résulte de ce qui précède que la production de l'électricité dans un couple voltaïque n'est qu'une manifestation, se faisant sous une forme différente, de l'électricité qui accompagne toujours une action chimique. Seulement sous cette forme l'électricité devient perceptible directement, tandis que dans la forme ordinaire que nous avons désignée sous le nom d'action locale, elle ne l'est qu'indirectement. L'affinité chimique ne peut donc s'exercer sans qu'il y ait en même temps production d'électricité, tantôt perceptible, tantôt non perceptible. Il y a plus : la formation d'un couple qui facilite la perception de l'électricité favorise, dans beaucoup de cas, l'exercice de l'affinité chimique, particulièrement dans les cas où l'homogénéité de la substance solide exposée à l'action chimique d'un liquide ne permet pas l'établissement de courants moléculaires superficiels. C'est en tirant parti de la puissance nouvelle qu'acquiert ainsi l'affinité chimique et qu'il a le premier signalée, que M. Becquerel a réussi à produire un grand nombre de composés inconnus jusqu'alors, et à obtenir à l'état cristallin plusieurs substances qu'on n'avait jamais réussi avant lui à faire cristalliser. Cet ordre de faits, qui est une des plus élégantes applications de l'électricité à la chimie, trouvera sa place dans la sixième partie de ce traité, consacrée aux applications.

Remarquons encore, avant de quitter ce sujet, que les précipitations métalliques, telles que celles qu'on obtient dans l'étamage des épingles, ou en plongeant une lame de fer dans une dissolution de sulfate de cuivre, ne sont, comme le dégagement de l'hydrogène par l'action de l'acide sulfurique étendu sur le zinc du commerce, qu'un effet électro-chimique dû à des cou-

moléculaires qui constituent [illegible] e nous avons appelé
n locale. Une lame de fer pl[illegible] e dans le sulfate de cuivre
ste presque toujours sur sa surface un ou deux points
ment oxydés là où il y a quelques gerçures, peut-être
nes particules de charbon; aussitôt ce défaut d'homogé-
détermine un premier petit courant qui décompose le
e, un peu de cuivre est immédiatement déposé, et alors
n n'en devient que plus facile, jusqu'à ce que la presque
té de la surface du fer soit recouverte de cuivre. On a
qué en effet que si cette surface est parfaitement homo-
ce qui est difficile à obtenir, la précipitation du cuivre
ns lieu. Les travaux importants de Bucholz et de Grotthus
x plus récents de Fischer de Breslau sur ce sujet, et en
alier sur les végétations métalliques, confirment complé-
t l'origine électro-chimique de cet ordre de faits, dont
ais rentrent dans les phénomènes purement chimiques,
s'il ne s'agit plus que de l'exercice de l'affinité. Toutefois
erons appelé à y revenir quand nous nous occuperons des
ations de l'électricité à la chimie.
st aussi à une cause électro-chimique semblable qu'on
ttribuer le fait important observé pour la première fois
vy, qu'on peut protéger un métal, le cuivre, par exemple,
la corrosion exercée sur lui par une dissolution acide
ine, telle que l'eau de mer, en l'associant voltaïquement à
tal plus oxydable tel que le zinc. Il se produit entre le zinc
ou appliqué au cuivre et le cuivre lui-même, un courant
décompose l'eau et en dépose l'hydrogène contre la surface
ivre, hydrogène qui prévient l'oxydation ou la détruit à
re qu'elle a lieu. Dans ce dernier cas, qui se présente assez
nt, le cuivre finit par se couvrir d'une couche pulvérulente.
dissolution renferme des sels à base insoluble ou peu
le, comme c'est le cas pour l'eau de mer, on voit bientôt
ivre se couvrir d'un dépôt basique terreux [1]. On avait cru
tant que le simple contact du cuivre ou du fer avec un

[1] Formation de ce dépôt a rendu malheureusement inapplicable le procédé
P, à la préservation du cuivre qui recouvre extérieurement les vaisseaux.

métal plus oxydable, tel que le zinc, les rendait inattaquables parce qu'il les constituait dans un état électrique particulier; mais M. Schoenbein a démontré, par une nombreuse série d'expériences, que le fer et le cuivre s'oxydent dans l'air, dans l'eau et dans une solution saline, aussi bien quand ils sont en contact avec du zinc que quand ils ne le sont pas, s'il n'y a pas de courant électrique; mais que dès qu'il peut s'en établir un, le métal négatif, c'est-à-dire celui qui reçoit l'hydrogène, n'est plus oxydé. La formation d'un dépôt provenant de la décomposition de la dissolution explique encore le fait observé par M. Van Beek, qu'un vase de cuivre rempli d'eau de mer, après avoir été pendant quarante-sept jours uni voltaïquement au moyen d'un fil de platine à une lame de fer plongée dans le même liquide, et avoir été ainsi préservé de toute oxydation, continua à l'être quand le fil de platine qui unissait le cuivre au fer eût été rompu; mais l'eau de mer ayant été changée, ce qui fit évidemment disparaître la couche préservatrice déposée sur la surface du cuivre, celle-ci recommença à s'oxyder.

Après avoir bien établi la théorie du couple voltaïque, il nous reste à montrer comment on peut renforcer l'intensité de l'électricité à laquelle il donne naissance. Pour rendre plus claire l'exposition que nous allons faire, nous désignerons sous le nom de *force électro-motrice* d'un couple, la force avec laquelle les molécules du liquide électrolytique qui entre dans la formation de ce couple sont polarisées, force qui dépend, quand l'élément négatif du couple est inactif (platine et zinc , de l'affinité seule de l'élément positif pour l'un des éléments du liquide: qui dépend au contraire de l'affinité que possède pour l'autre élément du liquide l'élément négatif du couple, quand c'est lui qui est actif, et que le positif ne l'est pas (platine et peroxyde de plomb); et enfin qui dépend des deux affinités également, quand les éléments du couple sont actifs tous les deux (zinc et peroxyde de plomb). Notre définition de la force électromotrice est bien différente de celle qu'on en donne dans la théorie de Volta, où l'on désigne sous cette dénomination la force avec laquelle on suppose que dans le contact de deux corps

ogènes (platine et zinc), l'un se constitue à l'état négatif et
e à l'état positif.
force électro-motrice d'un couple dépendant de l'affinité
s deux éléments pour ceux du liquide électrolytique, on
it qu'elle doit varier avec la nature de ces deux éléments
c celle du liquide, d'où résulte un nombre très-considé-
de combinaisons voltaïques possibles. Nous indiquerons à
de ce chapitre les méthodes qu'on a employées pour me-
cette force et l'application qu'on en a faite à la mesure
puissance des différents couples voltaïques. Nous cher-
ns à voir en même temps jusqu'à quel point on peut trou-
ans la mesure de la force électromotrice un moyen de
rer la puissance même de l'affinité. Pour le moment, nous
bornerons à exposer comment un couple étant donné, on
augmenter sa force électromotrice. Nous prendrons pour
exposition comme type le couple le plus simple, savoir :
uple formé d'une plaque de zinc amalgamé et d'une lame
tine, d'environ 100 cent. carrés de surface chacune, plon-
dans de l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique. Nous
serons le liquide placé dans un vase de verre bien isolant
deux lames métalliques munies chacune d'un appendice
ème métal, bien isolé également (fig. 307).
puissance électromotrice de ce couple pourra être appré-
soit par l'électromètre condensateur, l'électricité dont se
ge chacun des métaux dont il est composé étant perçue à
statique; soit par un rhéostat, cette même électricité étant
festée à l'état dynamique par son action sur un galvano-
magnétique. Pour augmenter la force électromotrice du
le, c'est-à-dire pour avoir une plus grande tension accusée
l'électromètre, ou une résistance plus grande surmontée au
tat avec la même déviation du galvanomètre, il suffira de
r à la suite de ce premier couple un second semblable, de
que l'appendice platine du premier soit en contact avec
endice zinc du second, et par conséquent que l'appendice
du premier et l'appendice platine du second soient isolés.
ura, en faisant communiquer ces deux appendices respec-
ment avec les deux plateaux du condensateur, une tension

double de celle qu'on avait avec un seul couple; et en les faisant communiquer entre eux par le fil du galvanomètre et par celui du rhéostat, de manière à fermer le circuit, on produira un courant qui surmontera une résistance double de celle que surmontait le courant d'un seul couple. Avec trois couples disposés de même à la suite les unes des autres, la tension à l'état statique sera triple, et la résistance surmontée, à l'état dynamique, sera triple aussi, et ainsi de suite, de façon que pour n couples, la tension et la résistance seront n fois plus grandes[1].

Maintenant il est facile de comprendre pourquoi l'addition d'un second couple double la force qui polarise les molécules successives du liquide ainsi que celle avec laquelle s'opèrent leurs combinaisons et recompositions; pourquoi l'addition d'un troisième la triple, d'un quatrième la quadruple, et ainsi de suite. Prenons le cas de deux couples unis voltaïquement, comme nous l'avons indiqué plus haut. Si le zinc du second couple n'exerçait aucune action qui polarisât son liquide, ce zinc en communication avec le platine du premier recevrait et transmettrait aux molécules liquides en contact avec lui, une polarité égale à celle qu'il recevrait du platine, c'est-à-dire que la première molécule d'eau aurait son oxygène négatif, tourné vers le + du platine, et le liquide de chacun des deux couples serait polarisé de la même manière (fig. 309). Mais le zinc du second couple exerce sur son liquide une action polarisante semblable à celle du premier. Ces deux actions s'ajoutent évidemment l'une à l'autre, puisqu'elles ont lieu dans le même sens. De plus, à son tour, l'action polarisante de ce zinc se transmet au platine du premier couple avec lequel il est en contact, et de là au liquide et au zinc de ce couple, de sorte que les deux couples ont égale-

[1] Nous verrons dans un paragraphe suivant que la proportionnalité entre la tension que possède à l'état statique l'électricité produite par une certaine force électromotrice, est proportionnelle à la résistance qu'elle peut surmonter à l'état dynamique. Quant au rapport qui existe entre cette tension ou cette résistance d'une part, et le nombre de couples d'autre part, nous ne pourrons apprécier jusqu'à quel point il est rigoureusement exact que lorsque nous aurons pu connaître et par conséquent éliminer les circonstances qui tendent à le dissimuler.

leur force électromotrice doublée. On expliquera de la manière pourquoi l'addition d'un troisième couple tri-

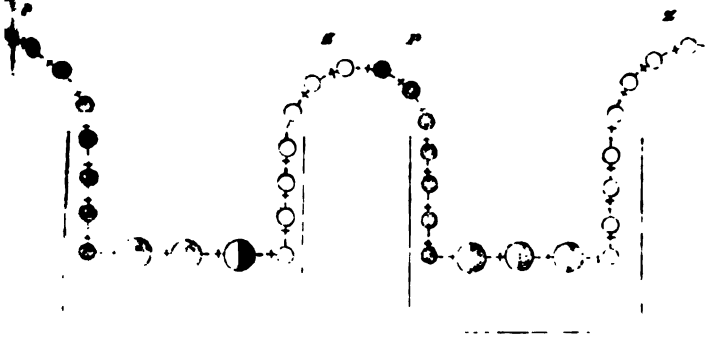


Fig. 309.

la force polarisante, et par conséquent la force électro- des trois couples également, et pourquoi s'il y a n cou- forces seront rendues n fois plus grandes.

quand on a une pile isolée composée d'un nombre que de couples semblables, au moment où l'on fait niquer ses deux pôles avec les deux plateaux d'un con- ur, ou avec le sol, on détermine une action chimique accompagnée d'un dégagement d'électricité. Si la pile posée d'un très-grand nombre de couples, la force élec- rice en devient assez puissante pour que l'action chi- ait lieu lors même que les pôles demeurent isolés; aussi faisant communiquer chacun avec un électroscope, on , sans le secours du condensateur, la divergence des d'or. La tension électrique qu'acquiert chaque pôle non-seulement de l'intensité de la force électromotrice, la conductibilité plus ou moins imparfaite de la pile me. En effet, les deux électricités accumulées respecti- à chacun des pôles tendent à se réunir par la pile qui les sépare et qui joue le rôle d'un simple conduc- L'expérience nous apprend, en effet, que cette réunion re comme dans un conducteur ordinaire[1], c'est-à-dire

la manière dont l'électricité se distribue dans un conducteur qui deux pôles d'une pile. Tome II, pages 34 et suiv.

qu'à partir des deux pôles où elles ont leur maximum de tension, chacune des deux électricités va en diminuant de force jusqu'au milieu de la pile, où l'état électrique est zéro. Les électricités contraires dont les deux moitiés de la pile sont chargées ne peuvent pas provenir des couples intermédiaires, puisqu'il y a toujours dans chacun d'eux neutralisation des deux principes électriques ; elles proviennent évidemment des extrémités, soit pôles de la pile où elles se renouvellent constamment. La tension des deux pôles serait la plus grande possible, si on pouvait concilier avec une grande force électromotrice, une conductibilité très-imparfaite de la pile ; c'est ce qu'on réalise avec les piles sèches, comme nous le verrons dans le paragraphe que nous consacrerons à l'étude et à la comparaison des différentes espèces de piles.

Dans une série d'expériences que j'avais entreprises avec des piles chargées soit avec de l'eau pure, soit avec des dissolutions salines ou acides, je m'étais assuré que, pour obtenir la tension maximum, il fallait un temps d'autant plus long que le liquide était moins bon conducteur, et qu'on l'obtenait instantanément avec des liquides très-bons conducteurs, tels que des acides étendus d'eau. M. Gassiot, dans une série de recherches très-remarquables faites avec sa batterie à eau, composée de 3,520 couples de zinc et cuivre parfaitement bien isolés, est parvenu dès lors à des résultats complétement d'accord avec la théorie que nous avons exposée. Il a conclu de ses expériences que les effets statiques de la pile préexistent à la fermeture du circuit, et que celui-ci peut être fermé, quand la tension est forte, par une succession d'étincelles qui s'établissent entre deux surfaces métalliques polaires très-rapprochées l'une de l'autre. Il a encore observé que dans une pile telle que celle à eau, où l'action chimique ne s'exerce que difficilement, la tension ne se produit que lentement ; mais il est parvenu à bien constater que les effets statiques, aussi bien que les effets dynamiques, ne peuvent être produits qu'autant que les éléments chimiques qui entrent dans la formation de la pile sont susceptibles de se combiner chimiquement entre eux. Il a trouvé également que plus l'affinité mutuelle de ces élé-

ats est puissante, moins il est nécessaire, pour produire de nds effets de tension, que le nombre des couples soit consi-ble. Ainsi il a obtenu, avec une pile composée de 100 cou-s de Grove bien isolés, une tension aux deux pôles aussi noncée qu'avec la pile à eau de 3,520 couples, et en particu-des étincelles entre deux disques de cuivre mis en commu-ation chacun avec l'un des pôles et placés à une distance de ; de pouce l'un de l'autre[1].

l demeure donc bien établi que dans une pile, comme dans couple, toute manifestation de signes électriques, aussi bien s la forme statique que sous la forme dynamique, est accom-pée d'une action chimique correspondante. Cette action est ssivement faible pour une seule décharge, mais elle de-nt sensible quand on opère une succession de décharges, ume le fait Gassiot en déterminant une série d'étincelles re les deux pôles de la pile à eau. Elle est surtout sensible nd, réunissant les pôles d'une pile par un bon conducteur, mène la succession des décharges à s'opérer assez rapide-nt pour qu'elles constituent le courant. On peut alors non-lement percevoir, mais même mesurer exactement l'action mique, et on la trouve à la fois la même dans chaque couple, quivalente pour chacun des couples, à ce qu'elle est, exté-rement à la pile, dans un électrolyte placé entre les pôles. st ce que nous avons encore à démontrer pour achever l'ex-ition de notre théorie.

l est d'abord bien évident que dans un seul couple, zinc et tine, la quantité d'hydrogène dégagée sur le platine doit être ctement équivalente à la perte en poids du zinc, du moins

[1] M. Gassiot a même réussi à obtenir des signes de tension au moyen d'un troscope à feuilles d'or très-sensible, avec un seul couple de Grove bien isolé. fond la difficulté qu'on rencontre à obtenir des signes d'électricité bien mar-b vient de ce qu'on n'isole pas assez bien les couples, ce qui n'est pas tou-s facile, surtout quand il s'agit de piles chargées avec des acides comme de Grove. Aussi c'est au moyen d'une construction particulière, et en ne nt usage que de vases en verre pour contenir la dissolution acide, que Gas-a réussi à obtenir avec 100 couples de Grove le même effet qu'avec sa bat-à eau.

s'il n'y a pas d'action locale sur ce métal ; s'il y en a, il faut tenir compte de l'hydrogène dégagé à la surface du zinc. Faraday, par des mesures et des pesées exactes, a constaté ce point essentiel.

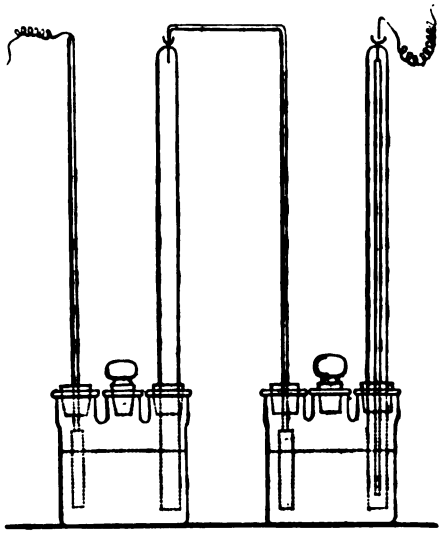


Fig. 310.

Si, au lieu d'un couple, on a une pile composée d'une série de couples zinc amalgamé[1] et platine, disposée de façon qu'on puisse mesurer exactement le gaz hydrogène dégagé par le platine, et enlever facilement les zincs pour les peser, on trouve que la quantité d'hydrogène est exactement la même dans chaque couple et dans un voltamètre placé dans le circuit, et qu'elle est en même temps équivalente au zinc consommé, que par conséquent celui-ci l'est aussi à l'oxygène du voltamètre.

Pour bien faire cette dernière expérience, on construit chaque couple (fig. 310) au moyen d'un flacon en verre rempli d'une dissolution d'acide sulfurique bien pure; ce flacon est percé de trois ouvertures : l'une au centre, fermée par un bouchon en verre, par laquelle on introduit le liquide : les deux autres de chaque côté de la centrale, l'une servant à introduire le zinc amalgamé, l'autre destinée à recevoir à frottement juste un

[1] Il faut que le zinc soit bien amalgamé pour éviter toute action locale.

ıdué ouvert par le bas et fermé par le haut, qu'on remiquide, et dans lequel on place un fil ou une lame de plant l'extrémité supérieure ressort à travers le haut du ı se terminant par une pince ou par un petit godet ue rempli de mercure. On dispose s couples semblables à la suite les autres, en ayant soin que les fils mé- s soudés aux zincs aboutissent resnent au platine de chaque couple conpuis on ferme le circuit avec un conquelconque, par exemple, avec un tre ; et quand l'action a duré quelque ın mesure le gaz hydrogène dans ouple et dans le voltamètre, et on zincs. C'est ainsi qu'on constate ude de la loi que nous avons posée. prouver avec un seul couple, il suf- 311) de faire communiquer le zinc platine du même couple.

ut remplacer dans le circuit l'eau du voltamètre par un électrolyte que, tel qu'un sel métallique, et on oujours que le métal réduit est équi-

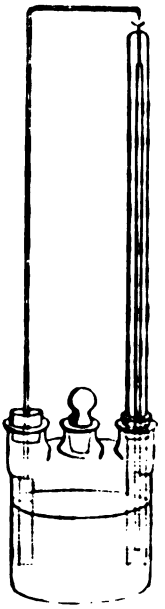


Fig. 311.

l'hydrogène de chaque couple. Ajoutons encore que la équivalents pour les couples d'une pile avait été signa- la première fois, après que Faraday l'avait prouvée ı seul, par M. Matteucci qui l'avait constatée en se ser- ur charger les couples d'un sel de cuivre.

donc, quand on réunit les pôles d'une pile par un élec- la quantité d'effet produit dans cet électrolyte est équi- à l'action chimique ou à la dépense chimique qui a s chaque couple. Si la pile a dix couples, par exemple, onsommer dix équivalents de zinc pour décomposer un ent d'eau, vingt lorsqu'il y a vingt couples. Il sembleıc bien plus avantageux de n'employer qu'un ou deux , puisque pour produire le même effet on dépenserait ı dix fois moins de zinc. Mais, outre que la décompo-

sition serait beaucoup moins rapide, ce qui présenterait de graves inconvénients dans bien des cas, il y a un grand nombre d'électrolytes qui ne peuvent être décomposés qu'autant que le courant a une certaine intensité, ou, ce qui revient au même, que la force électromotrice a une certaine puissance qu'on ne peut lui donner qu'en multipliant le nombre des couples. Il en est de même pour les résistances à surmonter. Ainsi, lorsqu'un courant est appelé à traverser un très-long fil télégraphique, il faut qu'il soit produit par une pile à couples nombreux (ce qui occasionne plus de dépense de zinc), parce que, s'il n'était produit que par un ou deux couples, il n'aurait pas assez d'intensité pour surmonter la résistance du fil.

Toutefois il existe une manière d'augmenter la force électromotrice d'un couple, et par conséquent l'intensité de son courant, sans qu'il soit nécessaire d'y ajouter un second ou un troisième couple, c'est de le faire traverser par un courant d'induction, dirigé dans le même sens que le courant même du couple. Ce courant d'induction, qui seul décomposerait l'eau, ajoute son effet à celui du couple, en augmentant sa force polarisante et en facilitant la décomposition et recomposition des molécules successives de l'eau. J'ai déjà décrit un appareil que j'ai imaginé dans ce but [1], dans lequel c'est le couple lui-même qui produit le courant induit dont l'effet doit être d'augmenter sa propre force; et j'ai fait voir qu'un couple qui ne pouvait décomposer l'eau d'une manière sensible, devient par cet artifice capable de donner à un voltamètre à fils de platine chargé avec de l'acide sulfurique au dixième, jusqu'à 20 cent. cubes de mélange gazeux par minute. Il est vrai qu'on ne fait pas une économie de zinc, car outre celui qui est consommé au moment où le courant circule à travers le voltamètre et qui est équivalent à l'eau décomposée, on en dépense une certaine quantité dans l'instant où le courant du couple, au lieu de traverser le voltamètre, passe à travers le fil de la bobine pour produire l'aimantation qui donne naissance à l'induction. On éviterait cette dépense en développant l'induction au moyen d'un aimant, mais alors

[1] Tome I, page 391, figure 148.

drait une force mécanique pour opérer la rotation de l'ap-
l d'induction. Ce serait, il est vrai, plus économique, puis-
ne dépenserait qu'une quantité de zinc équivalente à
chimique obtenu, mais au point de vue mécanique, on
t toujours besoin d'une force équivalente dans son effet,
ue d'une nature bien différente, à celle qu'aurait produite
ic qu'on aurait économisé. De plus, il faudrait plus de
pour obtenir le même résultat chimique.

résumé, il résulte de l'analyse que nous venons de faire
a loi des équivalents électro-chimiques découverte par
ay, et que nous avons exposée d'abord en ce qui concerne
omposition des électrolytes placés dans le circuit exté-
ment à la pile [1], est générale et s'applique aussi bien à
i se passe dans l'intérieur même de la pile qu'au dehors.
ut donc considérer le circuit d'une pile quand il est fermé,
e un système de conducteurs unis bout à bout, dans la sé-
squels le courant circule d'une manière parfaitement uni-
et identique, circulation qui s'opère par une succession
larisations et de recompositions des électricités contraires
olécules consécutives, de telle façon que cette opération
ompagnée de dégagement de chaleur quand elle ren-
e une certaine résistance, et de décompositions chimiques
l les molécules sont composées. Mais tous ces effets sont
alents dans toutes les parties d'un même circuit, la pile
rise; nous venons de le prouver en ce qui concerne les
chimiques, et nous avons déjà vu qu'il en était de même
les effets de chaleur [2].

ous resterait à examiner quelle est l'influence du nombre
ouples sur les effets qui exigent une grande rapidité
la circulation du courant, tels que les effets de chaleur,
que la modification qu'apporte dans une pile l'introduc-
l'un ou plusieurs couples plus forts ou plus faibles que les
s, ou simplement celle de diaphragmes métalliques ho-
nes, soit couples inactifs. L'influence de ces circonstances

[1] me II, pages 296 et suiv.
[2] me II, page 191.

et de quelques autres qu'il est inutile d'énumérer ici dant de causes que nous ne pourrons apprécier qu'ap achevé l'étude du dégagement de l'électricité dans l rentes formes sous lesquelles s'exerce l'action chimi n'est qu'à la fin de ce chapitre que nous les pourrons c'est ce que nous ferons dans le paragraphe où no parerons les différentes espèces de piles les unes au quant à leur puissance envisagée sous différents rappo verrons également alors le rôle que joue l'étendue d face des couples, rôle du r ste facile à comprendre d sent, car la grandeur de la surface ne pouvant influe la quantité d'action ue exercée dans un temp elle ne peut en rien mod r la force électromotrice d ou de la pile, ni par co uent la faculté du couran à surmonter cette). Remarquons seulement résistance, quand e d sse un certain point, li même la quantité d'action chimique efficace par la d'électricité qui peut être transmise dans un temps rend, par conséquent, inut le une augmentation de l au delà d'une certaine grandeur, grandeur qui est e en rapport avec celle de la résistance.

§ 2. Production d'électricité dans l'action chimiq dissolutions les unes sur les autres.

M. Becquerel est le premier physicien qui ait mon faisant réagir l'une sur l'autre deux dissolutions con

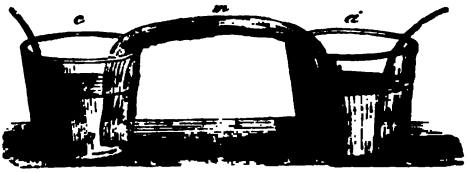


Fig. 342.

de l'électricité, et capables d'exercer mutuellement l l'autre une action chimique, quelque faible qu'elle soi

une manifestation électrique sous forme de courant. Pour ver cet effet, on fait communiquer (fig. 312) les deux mités d'un galvanomètre respectivement avec deux lames atine bien décapées, qu'on plonge l'une dans un verre *a* li d'acide nitrique, et l'autre dans un verre *c* rempli solution de potasse, par exemple; puis on réunit les liquides par une mèche *p m q* de coton ou mieux d'a- e humectée par de l'eau légèrement acide ou salée. Aussi- y a production d'un courant qui va de la potasse à l'acide ers la mèche, et par conséquent de la lame de platine longe dans l'acide à celle qui plonge dans la potasse, à s le galvanomètre. Davy ayant attribué la production de ricité, dans l'expérience que nous venons de rapporter, ntact du platine avec l'acide nitrique d'un côté et avec asse de l'autre, M. Nobili montra, contrairement au ré- obtenu par Davy, qui avait employé un galvanomètre peu sensible, qu'on peut obtenir un courant prononcé en nt le contact du platine avec l'acide et l'alcali. Il faut pour se mettre à l'abri de cette objection, modifier légè- nt la disposition de l'expérience de M. Becquerel; en quence, on fait plonger les deux lames de platine du gal- mètre dans deux capsules remplies toutes les deux d'une lution de nitrate de potasse, puis on fait communiquer, oyen d'une mèche d'amiante, les deux capsules respec- ent, l'une avec l'acide nitrique, l'autre avec la disso- n de potasse; l'acide et la potasse étant également mis mmunication par une mèche semblable, on obtient un nt analogue au précédent, mais plus faible à cause de parfaite conductibilité du nitrate de potasse et d'une nce particulière qui résulte du contact de l'acide ni- e avec la lame négative de platine, dont nous parle- plus loin. MM. Nobili et Becquerel ont également réussi tenir ce courant en remplaçant la dissolution de potasse un morceau de potasse caustique; le premier en plon- t le morceau de potasse dans l'acide après l'avoir fixé trémité de la mèche de coton, dont l'autre extrémité e dans l'un vases remplis de nitrate de potasse; le

second en prenant une cuiller de platine remplie d'a
trique, et en y plongeant la potasse tenue par une
platine, la cuiller et la pince étant mises respectiv
communication avec les deux bouts du fil galvanomé

Pour éviter toute objection, M. Becquerel a enc
d'une autre manière, par laquelle on évite également
du platine avec les substances différentes; il plong
lames de platine du galvanomètre dans deux verre
l'un et l'autre également d'acide nitrique; puis
communiquer au moyen d'une mèche de coton imbi
et longue d'un décimètre, en ayant soin, vu sa longu
soutenir par un tube de verre; vers le milieu de ce
on pose doucement avec un tube, à côté l'une de l'a
goutte d'acide et une goutte de potasse dissoute. Ta
deux gouttes sont séparées il n'y a aucun effet; mai
stant que leur réunion a lieu, il y a production d'u
électrique allant directement de la potasse à l'acide
cide à la potasse à travers tout le circuit. En substit
tres acides à l'acide nitrique, les résultats sont les mê
plus ou moins prononcés, suivant l'énergie de l'action
et la conductibilité des liquides.

On peut employer, au lieu d'eau, pour humecter
de coton ou l'amiante, une dissolution saturée de
potasse ou d'un autre sel, tel que le sulfate de soud
cas, l'acide et l'alcali, dans lesquels plongent les ext
la mèche, exercent sur elles des actions chimiques qu
naissance à des courants plus faibles que celui qui
l'action de l'acide et de l'alcali l'un sur l'autre, m
dans le même sens. Ces courants partiels sont les se
manifestent au moment même où l'on opère au mo
mèche humectée la réunion de l'acide et de l'alcali; a
est-il plus faible; mais au bout de peu d'instants, s
n'est pas trop longue, il s'y fait une infiltration de l'a
l'alcali qui, finissant par se rencontrer, se combinen
forçant considérablement le courant. Ainsi de l'acid
et de la potasse, réunis par une mèche imprégnée de
soude, n'ayant donné en commençant qu'une dévia

e de 4 à 5°, au bout de quelques instants en donnèrent galement constante de 20°, ce qui correspond à une force à dix fois plus grande au moins. La première déviation évidemment le résultat des courants provenant des ac- chimiques respectives de l'acide et de l'alcali sur le sul- de soude de la mèche, et la seconde de l'addition à ces nts de celui que produisait l'action directe de l'acide sur li. Les courants dus à l'action exercée sur la dissolution la mèche est imprégnée varient avec la nature de cette lution et des liquides dans lesquels plongent les extrémités tte mèche. On obtient encore des effets prononcés en hu- ant la mèche avec la dissolution d'un sel dont l'acide et la sont les mêmes que les acides et les bases des dissolutions lesquelles on plonge ses extrémités, par exemple une lution de nitrate de potasse avec l'acide nitrique et la se; ce qui prouve que même dans ce cas il y a encore une n chimique, tenant probablement à l'effet de la masse ou egré de concentration des dissolutions.

'action chimique des acides les acides peut également er naissance à des courants riques; ainsi, si l'on verse l'une des branches d'un courbé en U (fig. 313) de de sulfurique concentré, et l'autre de l'acide nitri- de manière que les deux ides se touchent en *m*, sans mélanger, ce qui est fa-

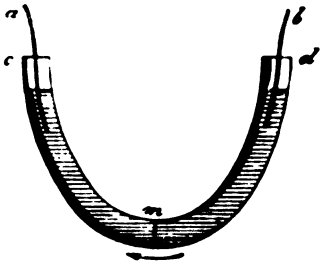


Fig. 313.

à obtenir à cause de leur différence de densité, on produit. plongeant les extrémités de platine *a* et *b* du galvanomètre ectivement dans les deux acides, un courant qui va directe- de l'acide nitrique *d* au sulfurique *c*, le premier des acides nt le rôle de base par rapport au second; l'acide phos- rique produit avec l'acide nitrique le même effet que le sul- que, et joue vis-à-vis du sulfurique le même rôle que le sul- que vis-à-vis du nitrique.

Voici l'ordre dans lequel on peut placer les diverses so tions conductrices, de manière que chacune soit négative rapport à celles qui suivent et positive avec celles qui pr dent[1] :

Acide phosphorique, acide sulfurique, acide nitrique, a hydrochlorique, acide acétique, acide nitreux, dissolutions sal dissolutions alcalines.

Il y a cependant des cas où des dissolutions salines son gatives avec certains acides, et positives avec certaines b mais ce sont des exceptions qui tiennent à ce que le phéno est complexe. Remarquons que l'eau joue en général le rô base avec les acides, et d'acide avec les bases. C'est prob ment à l'affinité considérable qu'ont pour elle les acides p phorique et sulfurique, d'où résulte qu'ils la prennent autres dissolutions, qu'il faut attribuer le fait que ces a sont à la tête des liquides dans le tableau ci-dessus.

Ajoutons que pour étudier ainsi les courants qui nai de l'action mutuelle des diverses dissolutions, il est préfé de recourir à la première manière d'opérer (fig. 312), en nissant les deux liquides dans lesquels plongent les deux l de platine par une mèche d'amiante. Il faut en même t avoir toujours soin de bien nettoyer avant chaque expéri les lames de platine en les faisant rougir, puis les me dans de l'acide nitrique bouillant, et enfin les lavant da l'eau distillée. Puis cela fait, on s'assure que, plongées le même liquide, dans de l'acide nitrique par exemple, ell produisent aucun courant ; ce qui prouve que leur surfa bien nette. Malgré cette précaution, il arrive toujours que que par une action chimique, quelque légère qu'elle soit courant a été produit, les lames de platine sont polarisée l'effet de dépôts gazeux ou autres, provenant de l'effet chim du courant sur les liquides qu'il traverse, et que cette pol que nous avons appelée secondaire tend à produire un cou

[1] Nous appelons toujours positif le corps (dans ce cas liquide) d'où p courant, soit l'électricité positive, pour aller directement à celui qui agit ch ment sur lui, et de celui-là revenir au premier à travers le fil du galvan

rse de celui qui l'a déterminée. Il en résulte que l'intensité courant principal en est fort affaibli, et même quelquefois point que ce courant n'est plus sensible.

our éviter ce grave inconvénient, M. Becquerel a imaginé ppareil qu'il a appelé *dépolarisateur*, et qui consiste dans disposition de conducteurs auxquels on fait faire l'office héotomes, soit de commutateurs. Par cet artifice, qui, au en d'un mouvement de rotation combiné avec un mouement de haut en bas et de bas en haut, fait sortir à la fois ne des lames de platine de la dissolution dans laquelle plonge pour la plonger dans l'autre, ces lames sont mises ativement en communication avec l'une et avec l'autre eux dissolutions, tout en restant respectivement unies avec me bout du galvanomètre, ce qui fait que la déviation de ille a toujours lieu dans le même sens. De cette manière, urant dû à la polarisation des lames s'ajoute à celui qui est la réaction chimique des deux liquides, au lieu de le di- er ou de le détruire. Si l'appareil interrupteur chemine et que le courant que produit l'action des deux dissolu- soit constant, la déviation de l'aiguille n'éprouve aucune tion pendant que les lames de platine sont en mouvement. peut, avec l'appareil dépolarisateur, découvrir des sources tricité dans les plus légères actions chimiques, telles que , par exemple, que produit la réaction de l'eau distillée s diverses dissolutions. Ainsi, en plaçant entre les deux où plongent les deux lames de platine de l'appareil dé- isateur, une succession de quatre mèches de coton mises tact à la suite les unes des autres, dont la première et la ire sont imprégnées d'eau distillée, tandis que la seconde prégnée d'eau saturée de sous-carbonate de soude, et la me d'eau saturée de bicarbonate de soude, on obtient ce circuit un courant qui va directement du sous-car- e à l'eau. Ce courant est la différence entre des courants en sens contraire ; en effet, entre l'eau et le sous-carbo- on a un courant allant de la dissolution saline à l'eau, le bicarbonate et l'eau il va de l'eau au bicarbonate, et le bicarbonate et le sous-carbonate il va du bicarbonate

au sous-carbonate. L'expérience démontre que la somme des deux derniers, inverses du premier, est moins forte que lui.

C'est à un effet du même genre qu'il faut attribuer le développement de l'électricité obtenu par M. Foucault dans la série suivante de conducteurs humides en contact : *eau*, *acide sulfurique*, *potasse*, *eau*, *acide sulfurique*, *potasse*, *eau*, etc. On a là trois actions chimiques qui donnent trois courants dirigés : 1° *eau* et *acide sulfurique*, de l'eau à l'acide ; 2° *acide sulfurique* et *potasse*, de la potasse à l'acide ; 3° *potasse* et *eau*, de la potasse à l'eau. L'expérience de M. Foucault démontre seulement que le premier et le troisième courants dirigés dans le même sens l'emportent sur le second dirigé en sens contraire, et ne peut point fournir la preuve, comme l'avait cru ce physicien, d'une conductibilité physique propre aux liquides.

On peut donc former des piles composées uniquement de deux liquides réagissant l'un sur l'autre et d'un seul métal, servant d'arc de communication entre les liquides différents de deux couples consécutifs. On sépare ordinairement les liquides destinés à agir l'un sur l'autre par un diaphragme poreux, soit en terre, soit en tissu organique. Il est des cas où la différence de densité entre les deux liquides permet de les mettre en contact en les superposant simplement l'un à l'autre, ainsi que nous l'avons vu plus haut quand nous avons montré l'action de l'acide nitrique ou même de l'acide sulfurique étendu sur de l'acide sulfurique concentré. C'est en opérant de la même manière que Berzélius avait construit une pile dans laquelle un certain nombre de

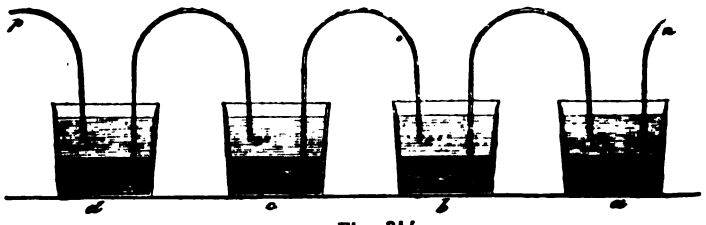


Fig. 314.

capsules de verre *a*, *b*, *c*, *d*, (fig. 314) étaient remplies à moitié d'une solution concentrée d'hydrochlorate de chaux, et à moitié d'une couche d'acide nitrique étendu qui, plus légère, ne se

angeait point avec la solution saline. Des arcs de cuivre ', c'', c''', terminés à leurs extrémités par de petites pièces de :, z, z', z'', z''' servaient à réunir les capsules en étant disposés telle façon que l'extrémité zinc de chacun plongeât entièrement dans la solution d'hydrochlorate de chaux, et l'extrémité vre dans la couche supérieure d'acide de la capsule suivante. s cette pile, le zinc, quoique faiblement attaqué, est positif rapport au cuivre, qui éprouve une action chimique très- de la part de l'acide, et de plus, dès que le circuit est fermé, zincs qui étaient restés parfaitement nets et brillants dans lissolution saline perdent leur éclat et s'oxydent, tandis que cuivres cessent d'être attaqués. Quoique dans la théorie chi- ue de la pile telle que nous l'avons exposée, cette expérience soit pas une objection contre cette théorie, puisque c'est la ure bien plus que la vivacité de l'action chimique qui déter- e le sens du courant, cependant l'effet tient surtout ici à tion chimique mutuelle des deux liquides, et l'oxydation du e, ainsi que la réduction du cuivre oxydé, ne sont que le ultat de la transmission à travers ces métaux du cou- t provenant de cette action. On obtient en effet le même ant en remplaçant les arcs métalliques zinc et cuivre par rcs homogènes de zinc, de cuivre ou de platine. Le courant ulement plus fort avec des arcs de zinc qu'avec des arcs ivre ou de platine, et même qu'avec des arcs hétérogènes e et zinc, ce qui tient à ce qu'il éprouve une facilité d'au- plus grande à passer d'un liquide dans un métal que ce l est plus oxydable.

f. Nobili, qui l'un des premiers avait fait une étude détaillée courants produits par l'action des dissolutions les unes sur tres, en se servant soit du galvanomètre, soit de la gre- e comme galvanoscope, avait obtenu des effets électriques ant agir des acides sur des sels formés avec les mêmes , tels que l'acide sulfurique sur des sulfates, l'acide ni- e sur des nitrates, etc. Dans les doubles décompositions, le nt est le plus souvent nul ou du moins très-faible.

rmi les méthodes qui ont été proposées pour déterminer tricité développée dans la réaction chimique de deux liqui-

des l'un sur l'autre, nous signalerons encore celle de M. Mousson, qui consiste à prendre deux disques de 5 cent. environ de diamètre, de platine ou d'argent, qu'il met en communication métallique avec les deux bouts du fil d'un galvanomètre; puis il applique respectivement, sur ces deux disques, deux disques de même diamètre de papier non collé et humectés des liquides sur lesquels on veut opérer; on rapproche alors parallèlement les deux disques et on les pose avec pression l'un sur l'autre. La déviation de l'aiguille indique aussitôt l'existence et l'intensité du courant. Quoique le galvanomètre employé par M. Mousson fût très-peu sensible, les effets observés étaient très-prononcés. Ainsi, avec l'acide nitrique et la potasse, l'aiguille pirouettait plusieurs fois; avec la potasse et le nitrate de potasse, elle déviait de près de 80°; mais dans ce cas l'effet est dû à la réaction de la potasse sur l'eau qui ne donne, il est vrai, quand on la produit directement, qu'une déviation de 25 à 30°, à cause du défaut de conductibilité; l'ammoniaque et l'eau pure donnent 30°; l'acide nitrique et l'eau 90°. Les acides sulfurique et hydrochlorique présentent de nombreuses anomalies dans l'électricité qui résulte de leur action sur l'eau et même sur quelques autres dissolutions, ce qui tient probablement pour le premier aux effets de la chaleur dégagée, et pour le second, à ce que le chlore doit agir sur les métaux servant d'électrodes. Les effets de l'acide nitrique sont plus réguliers.

Nous venons de voir que les dissolutions peuvent agir les unes sur les autres de manière à donner lieu à des effets électriques qui indiquent qu'il s'opère de véritables combinaisons chimiques. Mais quelquefois il n'y a qu'une simple dissolution et non pas combinaison; or il n'est pas toujours facile de distinguer quel est celui des deux phénomènes qui a lieu quand les réactions sont trop faibles pour qu'on puisse trouver des traces des composés nouveaux, ou apercevoir une élévation de la température. M. Peltier, pour résoudre cette question, se sert de deux capsules de platine remplies l'une d'eau distillée et l'autre de la dissolution qu'on veut examiner; puis il les joint par une mèche de coton ou d'amiante, en ayant soin de faire communiquer les deux capsules avec les extrémités d'un galvano-

ître à long fil. Si le corps dont on veut reconnaître l'action sur au est solide, on remplace la capsule par une pince de pla-ie entre les branches de laquelle on le place; un trépied ermo-électrique composé de trois couples bismuth et anti-oine, dont les extrémités inférieures sont de rang pair ou pair, reçoit la capsule où est l'eau. S'il y a combinaison, au ment où les deux capsules étant réunies il y a dissolution, s'opère un réchauffement qui est accusé par un galvanomètre fil court lié au trépied thermo-électrique, et il y a en même mps déviation du galvanomètre à fil long qui accuse le courant à l'action chimique. S'il y a au contraire simplement solu-n, cet effet est indiqué par l'abaissement de température de capsule, qu'accuse un courant thermo-électrique dirigé en s inverse du premier. La direction du courant thermo-élec-que suffit donc pour montrer s'il y a combinaison ou solu-n, lors même que les variations de température qui en résul-t sont excessivement faibles. M. Peltier a consigné dans un leau le résultat d'un très-grand nombre d'expériences, en fiquant en degrés galvanométriques la chaleur ou le froid duits par l'action de l'eau sur différentes dissolutions, ainsi le sens du courant provenant de leur action chimique, rant qui n'est même jamais complétement nul, dans le cas il y a froid produit, mais qui est alors très-ble. Nous ne reproduisons pas ici ce ta-u, mais nous nous bornerons à remar-r que la plus grande chaleur est obtenue e l'acide sulfurique, la potasse, la soude, aux, et le plus grand froid avec le nitrate hydrochlorate d'ammoniaque, l'iodure de ssium, le sous-carbonate de potasse, le te de zinc, ainsi qu'avec les acides bo-e, oxalique, citrique, etc., etc.

Fig. 315.

evenons un instant à la réaction de l'acide que sur la potasse, vu que l'étude de ce re d'action a conduit M. Becquerel à la truction d'un appareil très-simple et pourtant très-curieux ses effets. Cet appareil a reçu le nom de *pile à gaz oxygène*,

à cause de la production de ce gaz sur une des lames de platine qui entrent dans sa construction. Voici comment on le construit (fig. 315).

C D est un flacon en verre, rempli d'acide nitrique et dans lequel plonge un tube A B, maintenu dans le col par un bouchon. Ce tube est fermé en B à l'aide d'un morceau de linge, puis d'une certaine quantité d'argile ou de kaolin gâché en pâte épaisse, de façon à occuper une épaisseur d'environ 1 cent.; un peu de coton humide, que l'on introduit dans le tube par l'extrémité A, empêche le mélange de l'argile avec le liquide que doit contenir A B. Dans ce tube on met une dissolution aqueuse de potasse. L'acide nitrique du flacon et la dissolution de potasse du tube sont donc en présence par l'intermédiaire de l'argile humide, comme elles l'étaient au moyen du coton dans les expériences précédentes; en plongeant alors deux lames de platine N et P, l'une dans le flacon, l'autre dans le tube, si ces lames sont en relation avec un multiplicateur, il en résulte un courant électrique énergique dans un sens tel que l'acide prend l'électricité positive, et l'alcali la négative. Mais ce n'est pas tout, si on réunit les deux lames P et N à l'aide d'un simple fil métallique, aussitôt on voit une multitude de petites bulles de gaz se produire autour de P dans la potasse; ce gaz est du gaz oxygène pur. Il se dégage pendant plusieurs jours, tant que le couple fonctionne. Cet effet est facile à expliquer : la circulation d'électricité due à la réaction des deux liquides s'établit dans le couple lui-même; le courant part de la lame P, traverse les deux liquides pour aller à la lame N, et revenir extérieurement de N à P; l'eau de la dissolution de potasse est décomposée, l'oxygène se dégage sur la lame P et l'hydrogène est transporté dans l'acide nitrique. Celui-ci absorbe l'hydrogène naissant et se colore peu à peu par suite de la présence des vapeurs nitreuses.

Le couple imaginé par M. Becquerel est le premier à courant constant qui ait été construit; cette circonstance tient à ce que les lames ne sont point polarisées, parce que le nitrate de potasse qui se forme est immédiatement décomposé par le courant, et que l'acide et l'alcali, transportés l'un à la lame P, l'autre à la lame N, se trouvent en contact, le premier

ec la potasse, le second avec l'acide nitrique, ce qui fait u'ils se combinent immédiatement et ne restent pas sur les mes. On peut renforcer ce couple considérablement en substituant à la lame de platine qui plonge dans la potasse une lame zinc amalgamé; cette lame, en s'emparant de l'oxygène, duit un courant qui s'ajoute au premier. Au moyen de ce ple ainsi modifié, on obtient une forte décomposition de au acidulée placée dans un voltamètre à fils de platine. On t également réunir voltaïquement, à la suite les uns des res, plusieurs des couples de Becquerel, de manière à obir une pile très-puissante.

La pile à gaz oxygène a été l'objet de l'examen de plusieurs ysiciens, soit au point de vue de ses effets, soit sous le rapport la nature de l'action qui donne naissance à l'électricité elle dégage. Ainsi M. Jacobi a réussi à décomposer de l'iure de potassium en l'interposant extérieurement entre deux de platine soudés respectivement aux deux lames du même tal, plongées, l'une dans l'acide nitrique, et l'autre dans potasse; il n'est pas parvenu à décomposer de même du te de cuivre. Il n'a pas trouvé au couple de Becquerel énergie dynamique en rapport avec son activité chique, en se servant, pour apprécier la force de son cout, de l'action sur l'aiguille aimantée et de l'aimantation du doux. M. Fechner, d'un autre côté, avait fait un grand bre d'expériences dans le but de prouver que le développent de l'électricité dans la pile de Becquerel tenait au contact pectif des lames de platine avec l'acide et la potasse. Il opé au moyen de quatre verres successifs, dont les deux exmes étaient simplement remplis d'une solution conductrice nitrate de potasse en général, et les deux du milieu, des deux tions destinées à agir l'une sur l'autre, en particulier acide rique et potasse. Aussi appelait-il les deux verres *extrêmes ducteurs*, et les deux intermédiaires *producteurs*. Les expémces de Fechner avaient porté non-seulement sur l'acide rique et la potasse, mais aussi sur un grand nombre d'autres ides. Il avait même remplacé les lames de platine par des es d'autres métaux, ce qui compliquait les résultats en fai-

sant intervenir, entre l'action mutuelle des deux liquides producteurs de l'électricité, celle des liquides sur ces lames, action que nous avons étudiée dans le paragraphe précédent. En ce qui concerne plus particulièrement la pile de Becquerel, Fechner avait démontré que, pour que l'effet de cette pile fût énergique, il fallait que le platine fût en contact avec l'acide nitrique, et qu'elle perdait presque toute sa force quand on disposait l'expérience de façon que les lames de platine fussent plongées dans deux vases remplis de nitrate de potasse, unis respectivement, au moyen de conducteurs humides, à l'acide nitrique et à la potasse qui agissaient toujours chimiquement l'un sur l'autre. Dernièrement, Matteucci a repris ce sujet, et, tout en confirmant le fait signalé par Fechner, il est parvenu à des résultats très-intéressants sur les effets électriques qui résultent de l'action mutuelle des diverses dissolutions les unes sur les autres.

Après quelques expériences sur l'intensité du courant obtenu par l'action des différents acides sur la potasse et sur quelques oxydes, et avoir reconnu que l'emploi de l'acide nitrique est toujours préférable, il a démontré comme Fechner l'avait fait, l'influence considérable qu'exerce sur l'intensité du courant le fait que l'acide nitrique est en contact avec le platine, et il a réussi à trouver des combinaisons voltaïques à deux liquides capables de produire des effets encore plus forts que la pile de Becquerel. Voici la disposition qu'il a adoptée pour faire ces diverses expériences : Un des liquides est contenu dans un bocal de verre, dans lequel plonge un vase cylindrique en terre poreuse qui est rempli de l'autre liquide; deux lames de platine, larges de 3 centimètres et hautes de 12, réunies ensemble par une pince métallique, plongent dans les deux liquides. M. Matteucci a également, dans quelques cas, mis les deux liquides dans deux cylindres poreux, plongés l'un et l'autre dans de l'acide sulfurique étendu de huit à dix fois son volume d'eau. C'est ainsi qu'il s'est assuré que le courant était presque aussi fort lors même que la potasse et l'acide nitrique n'étaient pas immédiatement en contact, mais qu'ils l'étaient l'un et l'autre avec

ssolution d'acide sulfurique, pourvu que l'acide nitrique ien toujours en contact avec le platine. Le courant élec- e était mesuré par la déviation de l'aiguille du galvano- comparable de Nobili et par la quantité d'eau acidulée nposée dans un voltamètre dont les fils de platine avaient illimètre de diamètre et 25 millimètres de longueur. Dans ques-uns, le courant était mesuré par le poids de cuivre é sur l'électrode négatif qui était, dans ce cas, une lame atine semblable à celle employée dans la pile.

s expériences de M. Matteucci avaient essentiellement objet l'étude, non pas seulement de simples couples, mais iles formées de couples à deux liquides, comme le couple à ne de M. Becquerel. Les liquides successivement essayés nt, d'une part, comme corps attaqués, des dissolutions ntrées de potasse caustique, de protosulfate de fer, de sul- le potasse, d'hyposulfite de soude, de pentasulfure de po- um, de monosulfure de potassium[1]; d'autre part, comme attaquants de l'acide nitrique pur et concentré, une lution concentrée d'acide chromique, une dissolution d'a- ulfurique étendu de neuf fois son volume d'eau.

Matteucci s'est d'abord assuré qu'un seul couple de sulfure de potassium et d'acide nitrique décompose l'eau le voltamètre, et produit une déviation constante de 70 au galvanomètre; on peut également obtenir avec ce e une étincelle bien distincte en interrompant le circuit ers le mercure. Le monosulfure de potassium, mis à la du pentasulfure, donne les mêmes effets avec la seule ence que l'action est plus constante. Les deux sulfures de sium forment également, avec l'acide sulfurique, des es moins forts, il est vrai, qu'avec l'acide nitrique, mais on voit l'hydrogène se dégager autour de la lame longe dans l'acide. On peut accroître la force de ces es en recouvrant la lame de platine qui plonge dans l'eau

[1] On obtient le monosulfure en saturant avec l'acide sulfhydrique une partie asse, et en la mélangeant avec une autre partie restée à l'état de potasse ue. Quant au pentasulfure, on le prépare en faisant bouillir une dissolu- concentrée de potasse caustique avec un excès de soufre.

acidulée d'une couche de peroxyde de plomb, mais alors on ne voit plus l'hydrogène se dégager. Un couple formé avec une dissolution concentrée d'hyposulfite de soude et de l'acide nitrique, ou de l'acide chromique, décompose l'eau, et donne une déviation constante de 40 à 45°. En remplaçant les acides par de l'eau rendue conductrice au moyen d'un peu de sel marin, on n'obtient que des effets électriques à peine sensibles avec les différentes dissolutions indiquées plus haut.

M. Matteucci ne s'est pas contenté d'étudier l'effet d'un seul couple, il a formé avec ces couples des piles dont il a mesuré la puissance. Ces diverses piles, composées de 12 couples, ont été d'abord deux piles, l'une acide nitrique et potasse, l'autre acide nitrique et pentasulfure de potassium. Cette dernière est la plus forte de toutes celles qu'on peut former avec deux liquides. En effet, elle donnait une déviation fixe de 75° et 71 centimètres cubes de mélange gazeux, tandis que celle à acide nitrique et potasse ne donnait que 11 centimètres cubes en 5 minutes, et qu'une déviation de 46 à 48°. Une pile de Grove, de 12 couples également, dégageait dans ce même voltamètre 133 centimètres cubes de mélange gazeux, c'est-à-dire pas tout à fait le double de ce que donnait la pile à acide nitrique et à pentasulfure. En interposant entre l'acide nitrique et le pentasulfure contenus dans deux cylindres poreux, une couche d'acide sulfurique étendu, on ne change en rien les effets de cette pile. Une pile de 12 couples, dont chacun était formé d'une dissolution saturée d'acide sulfureux et d'acide nitrique, renfermés dans les cylindres poreux, plongés de même dans la dissolution d'acide sulfurique, donnait 40 à 45° de déviation, et 6 centimètres cubes de mélange gazeux en 5 minutes. Les effets ont été à peu près les mêmes en substituant à la dissolution d'acide sulfureux celle de sulfite de potasse. Enfin, avec 12 couples formés d'acide nitrique et d'une dissolution concentrée de sulfate de protoxyde de fer, on obtient une déviation fixe de 16° et 80 centimètres cubes de mélange gazeux en 5 minutes.

M. Matteucci a réussi à constater que le dégagement d'électricité qui a lieu dans les piles à deux liquides est indépendant

de l'arc métallique, et cela en se servant, pour réunir ces liquides, du filet nerveux de la grenouille galvanoscopique, au moyen de deux tubes de verre remplis de sable tassé et humecté d'une dissolution de sel marin ou d'eau pure, communiquant d'une part aux deux points différents du filet nerveux, et d'autre part avec les deux liquides des couples. L'inspection des liquides, après que le circuit des différentes piles a été fermé pendant quelque temps, démontre d'ailleurs d'une manière évidente la présence d'une action chimique oxydante ou dégageant de l'oxygène autour de la lame de platine positive, et une action désoxydante ou dégageant de l'hydrogène autour de la négative[1].

Enfin, pour bien démontrer l'origine chimique de l'électricité développée dans les piles à deux liquides, M. Matteucci a cherché à mesurer en même temps les effets électro-chimiques produits dans les couples d'une pile en activité, et celui qui a lieu dans le voltamètre qui ferme le circuit. Avec la pile de 12 couples, acide nitrique et potasse, il a toujours trouvé la quantité d'oxygène un peu moindre dans l'intérieur de la pile que dans le voltamètre, surtout lorsque l'action était lente et que la surface de la lame en contact avec la potasse était considérable. Il est possible que cette différence tienne ou à la formation d'un bioxyde de potassium, ou à une action de l'oxygène sur le platine, en présence de la potasse. Peut-être trouverait-on dans ces actions la cause de l'influence évidente qu'exerce sur l'intensité du courant produit par cette pile, le contact du platine avec la potasse. Avec une pile de 12 couples d'acide sulfurique étendu et de monosulfure de potassium, la quantité d'hydrogène recueillie dans l'acide a été exactement la même que celle fournie par le voltamètre. Avec une pile de 12 couples de monosulfure de potassium et de sulfate de cuivre, la loi des équivalents s'est trouvée également vérifiée. Ainsi, la quantité de cuivre déposée sur deux lames de platine, prises, l'une dans un des

[1] Il ne faut pas oublier que nous appelons *positive* la lame d'où part le courant pour aller dans le liquide, et de là à l'autre lame que nous nommons *négative*, quoiqu'elle soit celle d'où semble partir le courant pour traverser le circuit extérieur.

couples, l'autre dans un voltamètre rempli d'une dissolution de sulfate de cuivre, s'est trouvée être presque exactement la même. Dans une expérience, elle a été de $0^{gr},9510$ sur la lame négative de l'un des couples, et de $0^{gr},9485$ sur l'électrode négatif du voltamètre.

Il est plus difficile de recueillir et de mesurer l'oxygène dégagé dans l'intérieur de la pile; cependant M. Matteucci y a réussi en formant une pile avec des couples composés d'une dissolution d'acide sulfureux et d'une dissolution de nitrate d'argent contenant 10 parties d'eau en poids pour 1 de nitrate. Après avoir évalué, par une expérience comparative, la quantité d'acide sulfurique qui est formée par l'oxygène de l'air, il a pu, en le dosant au moyen de la baryte, déterminer exactement la proportion de cet acide que produit dans l'acide sulfureux l'oxygène même qui provient de l'action de la pile. Après divers essais, et en prenant diverses précautions, il est parvenu à des résultats très-satisfaisants par leur exactitude. Ainsi, ayant obtenu $0^{gr},471$ d'argent déposé sur la lame négative, il a trouvé, en tenant compte de l'acide sulfurique formé par l'oxygène de l'air, que la quantité de cet acide correspondant à l'argent réduit était de $0^{gr},1772$, au lieu de $0^{gr},1744$, qui avait été exactement l'équivalent de l'argent obtenu. La différence entre ces deux nombres est si petite, qu'on peut bien regarder comme démontré que la quantité d'oxygène qui, provenant de la décomposition de l'eau dans les couples, se combine à l'acide sulfureux, est équivalente à la quantité du nitrate d'argent qui est décomposé dans la pile.

Remarquons encore que dans les couples où entre l'acide nitrique, tels que celui acide nitrique et potasse, ce n'est pas seulement l'action de l'acide nitrique sur la potasse qui détermine le courant, mais surtout la présence de l'acide nitrique autour de la lame de platine, puisque, pourvu qu'on maintienne cette présence, on a presque autant d'effet en interposant une dissolution d'acide sulfurique entre l'acide nitrique et la potasse, et qu'au contraire l'intensité du courant devient très-faible en plaçant l'acide sulfurique en contact avec le platine et l'acide nitrique, entre la potasse et lui. Ces résultats

ont faciles à comprendre dans la théorie que nous avons lonnée de la production de l'électricité dans un couple volaïque. L'action de l'acide nitrique, comme celle de l'acide sulurique sur la potasse, produit un courant dans lequel l'acide rend l'électricité positive et l'alcali la négative : ces deux lectricités se réunissent immédiatement sur la surface même lu contact des deux liquides à mesure qu'elles sont séparées; nais si le circuit est fermé au moyen d'un arc métallique, ces leux électricités peuvent se neutraliser en traversant ce circuit; toutefois elles ne peuvent le faire qu'en décomposant 'eau des dissolutions, et en particulier de celle de potasse. Or, cette décomposition est excessivement facilitée par la présence à l'électrode négatif d'un corps qui abandonne facilement son oxygène, tel que l'acide nitrique, et qui joue ainsi, dans ce cas, le même rôle que nous avons vu être joué par le peroxyde de plomb dans un couple zinc et platine. L'acide, comme le peroxyde, en se désoxydant au moyen de l'hydrogène de l'eau décomposée, ajoute encore à la force du courant. Il est facile de comprendre que l'acide sulfurique autour de la lame de platine ne peut produire le même effet.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que des effets électriques qui accompagnent l'action chimique mutuelle de deux dissolutions; mais cette action n'est pas la seule qu'une dissolution puisse éprouver. Ainsi, elle peut être décomposée sans que l'intervention d'une seconde dissolution soit nécessaire. C'est ce qui arrive, par exemple, quand on fait évaporer dans un creuset chauffé de l'eau qui tient en dissolution un corps étranger. M. Pouillet qui, le premier, a fait ce genre d'observation, se servait d'une capsule, et même avec plus d'avantage d'une lame épaisse de platine légèrement creuse, qu'il faisait communiquer, après l'avoir chauffée au rouge, avec le plateau inférieur d'un condensateur, au moyen d'une tige soudée à ce plateau. Après s'être assuré que l'évaporation de l'eau pure ne dégageait pas d'électricité, il versait successivement dans le creuset quelques gouttes d'une dissolution, acide, basique ou saline. Il observa qu'avec une dissolution de strontiane la capsule, au moment de l'évaporation, gardait l'électricité po-

sitive pendant que la vapeur emportait la négative ; il en fut de même des autres dissolutions alcalines. L'ammoniaque seulement présente un effet inverse, parce qu'étant plus volatil que l'eau, il emporte l'électricité positive, et laisse à l'eau, et par suite à la capsule, l'électricité négative. Avec les dissolutions acides, c'est l'eau, par contre, qui est positive, et l'acide prend l'électricité négative. Avec une dissolution de sel marin il en est de même. Il paraît donc, d'après ces diverses recherches, que les effets électriques dans les décompositions chimiques sont inverses de ceux qui ont lieu dans les combinaisons. C'est, du reste, ce que nous avions déjà fait remarquer en faisant un couple avec une lame de platine et du peroxyde de manganèse et du peroxyde de plomb plongés dans de l'eau acidulée. La décomposition du peroxyde produit un courant qui va en sens inverse de celui qui résulterait de l'oxydation du métal. On peut encore constater l'exactitude de ce principe en projetant du bicarbonate de soude solide dans la capsule de platine chauffée au rouge ; ce sel se décompose en laissant échapper de l'acide carbonique qui emporte l'électricité négative, tandis que la capsule prend un fort excès d'électricité positive.

M. Peltier, qui a étudié avec soin ce sujet, remarque que l'électricité ne se produit point dans les expériences que nous venons de rapporter pendant toutes les phases de l'évaporation, mais seulement au moment où le liquide, quittant l'état sphéroïdal, éprouve une espèce de crépitation. Il en conclut que l'électricité n'est dégagée qu'au moment où a lieu une décomposition chimique provenant de la ségrégation de l'eau combinée, et non pendant la séparation de l'eau surabondante.

M. Gaugain est plutôt disposé à voir dans ces divers phénomènes le résultat du frottement contre les parois du creuset des particules d'eau projetées au moment de la décrépitation. Son opinion est basée sur le fait que l'évaporation lente, qui est pourtant accompagnée aussi d'une décomposition chimique, ne produit aucun effet, et, de plus, sur ce que l'électricité développée dans ce genre d'action ne communique pas instantanément au condensateur le maximum de charge qu'il

comporte, ce qui serait le cas, s'il s'agissait d'une source électrique ayant son principe dans l'action chimique; au contraire, la quantité d'électricité croît jusqu'à une certaine limite avec la durée de l'action, et a une valeur invariable indépendante de l'étendue des surfaces du condensateur, comme cela a lieu pour le frottement, tandis que lorsqu'il s'agit d'action chimique, non-seulement la charge est instantanée, comme nous venons de le dire, mais elle croît indéfiniment avec la surface du condensateur employé. C'est en opérant sur une dissolution de sel marin que M. Gaugain a fait ces observations. Il ne paraîtrait pas que l'électricité produite pût être due au frottement des particules du sel contre la surface du platine; car l'expérience directe faite en soufflant du sel marin sec et en poudre contre les parois d'un creuset de platine chauffé au rouge, a montré que ce creuset se chargeait d'électricité positive, et non de négative. Ce serait donc uniquement au frottement de l'eau que l'effet serait dû. Mais alors pourquoi l'eau distillée ne le produirait-elle pas également, et pourquoi aurait-il lieu dans une capsule évasée aussi bien que dans une étroite, tandis qu'il n'y a d'électricité dégagée par le frottement de l'eau pure que dans le second cas, et non dans le premier?

Nous sommes donc disposés à croire qu'il y a bien un effet électrique produit dans les ségrégations chimiques, de même qu'il y en a un dans les combinaisons, et que si sa manifestation n'a lieu en général que lorsque l'évaporation est très-rapide, cela tient, comme nous avons déjà eu l'occasion de le remarquer dans le paragraphe précédent, à ce qu'on évite mieux ainsi la recomposition immédiate des deux électricités.

C'est encore à la décomposition des dissolutions qu'on doit attribuer en très-grande partie les effets électriques qu'on obtient en plongeant dans un liquide deux fils de platine liés aux deux bouts d'un galvanomètre, et dont l'un a été chauffé au rouge, tandis que l'autre est demeuré froid. Toutes les fois que le fil chauffé prend au liquide l'électricité positive, ou, ce qui revient au même, joue dans le couple le rôle de métal négatif, l'électricité provient de la décomposition de la dissolution et le

fil joue le même rôle que jouait la capsule de platine dans les expériences précédentes; tandis que lorsqu'il prend l'électricité négative ou qu'il se conduit comme le métal positif, il est probable que l'électricité provient d'une action chimique exercée sur lui par la dissolution. C'est en effet la conclusion qu'on peut tirer des expériences faites par M. Henrici sur ce sujet. Ainsi il a trouvé que, soit avec l'acide chlorhydrique, soit avec une solution de potasse, le fil chauffé prend bien l'électricité négative, preuve qu'il est attaqué; ce qui doit avoir lieu effectivement dans ce cas. Avec les acides sulfurique et nitrique soit concentrés, soit étendus, le fil de platine chauffé prend au contraire l'électricité positive, parce que ce sont les dissolutions qui sont décomposées sous l'influence de la chaleur du platine.

En résumé, les effets électriques qui accompagnent les actions chimiques dans lesquelles les corps soumis à ces actions sont liquides, rentrent d'une manière générale dans les lois qui régissent les actions chimiques dans lesquelles l'un des corps est solide et l'autre liquide. Toutefois, comme pour percevoir l'électricité produite dans ces actions, il faut nécessairement employer un corps solide pour conducteur, il en résulte que quelque précaution qu'on prenne pour que ce corps soit inactif en le choisissant parmi les métaux inattaquables, tels que le platine, il n'est pas toujours possible d'éviter son intervention active, ce qui, dans ces cas-là, rend les phénomènes plus complexes. C'est en particulier ce qui résulte nécessairement de la circonstance que des lames métalliques inattaquables, aussi bien que celles qui sont attaquables, acquièrent une polarité secondaire, par le seul fait qu'elles ont transmis les courants développés dans les liquides. Nous allons voir dans le paragraphe suivant, qui est consacré à l'étude de cette polarité, comment on peut en tenir compte.

§ 3. Production d'électrité dans l'action chimique des liquides sur les couches minces dont sont recouvertes des surfaces solides. — Polarités secondaires, pile à gaz, fer passif.

Ritter avait observé qu'en formant une pile de disques de même métal, alternant avec des cartons humides, cet appareil

[illegible]tif par lui-même devenait capable de donner des effets sem-[illegible]bles à ceux de la pile ordinaire, quand on l'avait interposé [illegible]dant quelques moments dans un circuit voltaïque. L'action [illegible]ette pile, que Ritter avait appelée *secondaire*, était d'autant [illegible] forte que le courant qui l'avait chargée était plus éner-[illegible]ique, que la surface des disques métalliques employés dans sa [illegible]truction était plus considérable, et que le liquide, dont les [illegible]ons étaient humectés, était plus conducteur. Mais cette action [illegible]ait point permanente, elle cessait quand la pile avait fonc-[illegible]né quelques instants. Volta, ayant examiné les piles secon-[illegible]es de Ritter, déclara que la pile ordinaire ne leur trans-[illegible]ait aucune charge, mais que leur effet tenait à ce que le [illegible]rant électrique, en les traversant, décomposait le liquide [illegible]posé entre les disques de métal homogènes, et recouvrait [illegible]urfaces de chacun de ces disques de deux solutions diffé-[illegible], l'une acide, l'autre alcaline, quand le liquide employé [illegible] une solution saline, cas le plus fréquent. Cette opinion de [illegible] a été complétement confirmée par les recherches ulté-[illegible]es et notamment par l'analyse détaillée que Marianini a [illegible] des piles secondaires de Ritter. Le savant physicien italien a [illegible]ntré que ce n'est point, comme Ritter l'avait cru, à la diffi-[illegible] qu'elles opposent au passage de l'électricité, que les piles [illegible]daires doivent leur pouvoir électromoteur, puisque plus [illegible] transmettent facilement le courant de la pile active, plus [illegible]e chargent fortement et facilement. Il a également prouvé [illegible] cause de l'électricité que dégagent les piles secondaires [illegible]nt entière dans les altérations qu'éprouvent les surfaces [illegible]parties métalliques dans les portions où elles sont en con-[illegible] avec les conducteurs humides, puisqu'on peut retourner [illegible]ème changer ceux-ci sans détruire ni même diminuer le [illegible]voir de ces piles. Seulement cette altération n'est pas due, [illegible]me Marianini semblait le croire, à une modification physi-[illegible] qu'auraient éprouvée les surfaces métallliques, mais à une [illegible]le formation de dépôts provenant de l'action décomposante [illegible]rcée par le courant transmis, sur le liquide de la pile secon-[illegible]e; dépôts qui, par l'action chimique que le liquide exerce [illegible]eux, sont l'origine de l'électricité dégagée.

Ajoutons encore, pour ne pas être appelé à revenir sur ce point peu important du reste, sauf, comme nous le verrons, en ce qui concerne l'influence qu'il exerce sur la force de la pile voltaïque, que la meilleure disposition à donner aux piles secondaires consiste à unir une série de vases remplis d'une dissolution conductrice, saline par exemple, par des arcs homogènes, de cuivre, même d'or ou de platine (fig. 316); puis quand on a transmis à travers ce système de couples inactifs

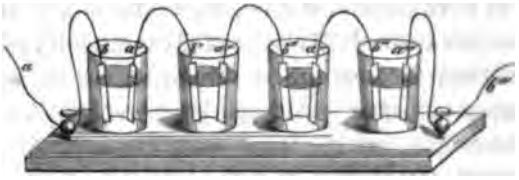


Fig. 316.

un courant qui doit avoir d'autant plus d'intensité que le nombre des couples inactifs est plus considérable, on trouve que la pile secondaire a acquis une charge électrique. Elle donne des signes de tension à ses deux extrémités et un courant capable d'agir sur l'aiguille, de produire de la chaleur, ou même une étincelle et de décomposer l'eau. Seulement la nature de l'électricité accumulée à ses deux pôles, ainsi que le sens du courant qui s'établit quand on réunit ces pôles, indique que ses extrémités ont pris des électricités contraires à celles des pôles de la pile voltaïque avec lesquels elles ont été mises en communication. C'est une conséquence évidente de la nature des dépôts que le courant initial a déterminés sur chaque partie de l'arc métallique, et du sens du courant auquel donne naissance l'action chimique du liquide sur ces dépôts respectifs.

Pour bien analyser cet ordre de phénomènes, il faut commencer par l'étudier sur un seul couple secondaire, et non sur une pile tout entière. Dans ce but on plonge dans un vase rempli d'un liquide conducteur deux lames du même métal; il est préférable d'employer le platine pour se mettre à l'abri de la réaction chimique directe du liquide sur le métal lui-même. On fait passer pendant quelque temps le courant d'une pile voltaïque à travers le liquide en se servant comme électrodes

ames de métal; puis après avoir interrompu le courant, et les lames en communication avec un galvanomètre, sitôt on observe un fort courant qui dure quelques in- s et dont le sens est inverse de celui qui avait été trans- On nomme *secondaire* ce courant par opposition à celui i chargé l'appareil et que l'on nomme *primaire*, et on me sous le nom de *polarité secondaire*, comme nous l'avons vu, la propriété qu'ont acquise les lames métalliques en mettant le courant primaire.

utes les fois que le liquide électrolytique est une solution e, le courant produit par les polarités secondaires est facile liquer, ainsi que M. Becquerel l'a le premier démontré ement; il se dépose en effet sur la surface de l'électrode tif une couche d'alcali et sur celle de l'électrode posi- e couche d'acide, qui, par l'action qu'exerce sur elles lution, doivent produire un courant dirigé de l'alcali ide dans le liquide, et par conséquent de la lame qui servi d'électrode positif à celle qui avait servi d'électrode tif dans le fil du galvanomètre qui les unit. On peut pro- le même courant sans employer la décomposition élec- tique, mais en plongeant simplement l'une des lames dans ide, l'autre dans un alcali, et en les plaçant ensuite dans dissolution conductrice, après les avoir unies avec les deux d'un fil galvanométrique.

était moins facile d'expliquer la cause du courant secon- développé quand les électrodes qui ont acquis la po- sont simplement plongés dans l'eau pure ou acidulée, par conséquent, le dépôt dont ils se recouvrent ne peut e de l'oxygène ou de l'hydrogène. J'avais déjà, en 1826, té l'existence des polarités secondaires sur des lames ou ls de platine quand la dissolution n'est que de l'eau ment acidulée avec de l'acide sulfurique. Je les avais attri- à un état particulier de polarité qu'auraient contracté les odes eux-mêmes sous l'influence du courant; mais M. Bec- l ayant démontré que, lorsque le circuit est tout métal- le phénomène n'a plus lieu, et que les électrodes ne le ent que dans les parties de leur surface qui ont été en

contact avec le liquide électrolytique, il devenait naturel d'en voir la cause dans le dépôt des petites couches gazeuses sur la partie des électrodes où s'opère le dégagement des gaz qui proviennent de la décomposition. C'est M. Matteucci qui a le premier confirmé cette explication par des expériences directes faites avec de l'eau très-pure. Il s'est assuré que les polarités persistent sur les lames de platine très-longtemps, qu'on peut les détruire en chauffant ces lames au rouge, et qu'une seule lame suffit pour exciter le courant quand on l'emploie avec une autre qui n'a pas servi d'électrode; mais cependant, dans ce cas, la lame sur laquelle l'hydrogène s'est déposé, donne un effet plus prononcé que celle où le dépôt a été de l'oxygène.

Pour montrer qu'il y a effectivement une couche d'hydrogène adhérente à une lame qui a servi d'électrode négatif, et une d'oxygène à une lame qui a servi d'électrode positif, M. Matteucci introduit la première dans une petite cloche graduée remplie d'oxygène, et la seconde dans une cloche semblable remplie d'hydrogène; dans chacune des cloches il y a une diminution de volume qui ne peut provenir que de la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène contenus dans les deux cloches, respectivement avec l'hydrogène et l'oxygène restés adhérents aux lames. Dans une expérience, la diminution fut de $\frac{4}{10}$ de centimètre cube dans l'oxygène, et de $\frac{3}{10}$ de centimètre cube dans l'hydrogène. On peut se rappeler que j'ai obtenu un résultat semblable en renversant la direction du courant dans la décomposition électrolytique de l'eau acidulée, et en montrant que les quantités de gaz dégagées sont moindres qu'elles ne devraient l'être, quand on prend pour électrode négatif la lame qui a servi d'électrode positif, et réciproquement [1]. Du reste, M. Matteucci a réussi également dans ce cas, comme il l'avait fait pour le cas des dépôts alcalins et acides, à démontrer, par une expérience directe, que le courant est bien dû aux couches d'hydrogène et d'oxygène que détermine la décomposition électrolytique de l'eau. Il a placé dans ce but des lames de platine dans de l'hydrogène et dans de

[1] Voyez plus haut tome II, page 353.

gène très-purs ; puis, après l iv retirées et les avoir
é au fil d'un galvanomètre, il s dans de l'eau
lée et a obtenu des déviat qui ont été jusqu'à 90°.
courant va toujours dans le liquide de la lame qui a été
l'hydrogène à celle qui a été dans l'oxygène. Les couches
ns obtenues de cette manière sont aussi adhérentes que celles
détermine la décomposition électrolytique ; il faut seulement
r les lames dans le gaz en iron dix minutes pour avoir
maximum d'effet. On peut aussi obtenir un courant en
ployant qu'une lame qui a été plongée dans l'hydro-
ou dans l'oxygène, et en l'unissant avec une autre qui
été mise en contact avec aucun gaz. Il est nécessaire de se
r dans ces expériences de lames de platine ou d'or, et de
rer, avant de leur donner la polarité secondaire, qu'elles
duisent par elles-mêmes aucun courant.

Schoenbein, dans les nombreuses recherches qu'il a
sur ce sujet, a remarqué que si l'on sépare en deux com-
ments par une cloison poreuse, le vase dans lequel on
pose électrolytiquement de l'eau distillée, on obtient un
t très-prononcé en plongeant dans l'eau de chacun
compartiments une lame de platine qui n'a point servi
trode, et il s'est assuré que cette propriété appartient à
du compartiment où s'est dégagé l'hydrogène, car elle
te quand on transporte cette eau dans un autre vase, où
t en contact par l'intermédiaire d'une autre membrane
de l'eau chimiquement pure. L'eau dans laquelle l'oxy-
avait été dégagé ne possède point la même propriété.
-ci provient donc évidemment de l'hydrogène dissous
l'eau ; et, en effet, il suffit pour la développer de faire
ndre artificiellement de l'hydrogène dans de l'eau pure,
avoir besoin d'employer pour cela la décomposition élec-
trique. Il est indispensable pour réussir que la lame mé-
lique qui plonge dans l'eau hydrogénée soit de platine ;
qui plonge dans l'eau, soit oxygénée, soit pure, peut
indifféremment de platine, d'or, ou même d'argent : le
ant marche t jours directement de l'eau où l'hydrogène
issous à l'ea qui est en contact avec la première par l'in-

termédiaire de la cloison poreuse. M. Schoenbein a encore observé que l'eau dans laquelle on a fait dissoudre de l'oxygène soit directement, soit en y transmettant un courant dont l'électrode positif est en contact avec elle, est complétement inactive avec l'eau ordinaire, même dans le cas où le circuit est fermé par des lames de platine qui plongent dans les deux liquides. Cependant le platine et l'or qui ont servi d'électrodes positifs dans l'eau, acquièrent ainsi une polarité secondaire très-prononcée, polarité qui ne leur est point imprimée par leur simple contact avec l'oxygène, contrairement à ce qu'avait observé M. Matteucci. M. Schoenbein croit avec raison que cette polarité négative est communiquée au platine et à l'or par une couche d'ozone, soit oxygène ozoné, qui se dépose à leur surface, car il peut imprimer la même propriété à ces métaux en les plongeant simplement pendant quelques instants dans de l'air ozoné au moyen du phosphore. De l'eau qu'on a agitée dans un grand flacon rempli d'air ozoné donne, avec de l'eau pure et des lames de platine qui n'ont point été polarisées, un courant qui va de l'eau pure à l'eau ozonée. Le phénomène se passe comme dans le cas où l'eau tient en dissolution du chlore, du brome ou de l'iode; substances qui, comme l'ozone, impriment au platine et à l'or, quand elles forment un dépôt sur leur surface, une polarité négative. En général, comme M. Schoenbein l'a observé le premier, du platine plongé dans de l'eau qui tient en dissolution du chlore, du brome, de l'iode ou même de l'ozone, se comporte vis-à-vis du platine qui est plongé dans de l'eau pure séparée de la première par une simple cloison poreuse, comme un peroxyde (le peroxyde de plomb) qui formerait un couple avec une lame de platine dans de l'eau ordinaire ou légèrement acide. Il aurait semblé au premier abord que le platine plongé dans les dissolutions que nous venons de nommer, aurait dû au contraire se conduire comme un métal positif, à cause de l'action chimique qu'il doit éprouver de leur part. Mais le phénomène est tout différent; sous l'influence du platine, le chlore, le brome, l'iode, décomposent l'eau comme le fait un peroxyde, et il est facile de voir qu'alors la chaîne électrolytique s'établit

façon que le courant marche dans le liquide de la lame
e qui plonge dans l'eau pure à celle qui plonge dans
ution, tous les hydrogènes des molécules d'eau étant
du côté de celle-ci et les oxygènes du côté de l'autre.
e ozoné se conduit comme le chlore, le brome et
ndis qu'il n'en est pas de même de l'oxygène ordi-
qui tient à ce que le premier décompose l'eau sous
ce du platine et non le second. On trouve dans cette
générale l'explication du fait observé par plusieurs
s, que la dissolution du chlore, du brome et même
, facilite la production de l'électricité dans un couple
ge dans ces dissolutions, ainsi que la décomposition
dans laquelle on dissout ces substances. En effet, c'est
e chimique qui s'ajoute à celle du métal négatif du
u de l'électricité négative de la pile, pour séparer
ène de son oxygène dans chacune des molécules du
u, qui est déjà polarisé par le métal positif du couple
électricité positive de la pile.

ove a analysé avec beaucoup de soin les phénomè-
nous occupent et en a tiré les conséquences les plus
ables. Il a le premier montré que l'action de l'hy-
et de l'oxygène sur l'eau, sous l'influence du pla-
vait donner naissance à un courant constant et non
pas seulement à des courants d'une durée plus ou moins courte. Dans ce but, il a pris deux tubes fermés à leur partie supérieure et renfermant chacun une lame de platine pouvant communiquer extérieurement au moyen d'appendices *g* et *g'* (fig. 317). Il a rempli ces deux tubes d'eau acidulée, puis a introduit de l'hydrogène dans l'un, de l'oxygène dans l'autre, en ayant soin que la lame de platine fût plongée moitié dans le gaz, moitié dans le liquide; les deux tubes étant alors mis en communication, au

g. 317.

l'une dissolution d'acide sulfurique dans laquelle ils
ient par leur partie inférieure, on a obtenu un courant

constant et prononcé en réunissant par le fil d'un galvanomètre les deux lames de platine. Il faut que ces lames aient été préalablement bien décapées; on peut remplir les tubes des gaz voulus en faisant passer à travers le liquide un courant voltaïque d'une force suffisante auquel les lames servent d'électrodes. Si l'on a soin de laisser subsister longtemps de suite la communication métallique entre les lames de platine, ce qui maintient le courant, on voit graduellement l'oxygène et l'hydrogène diminuer dans les deux tubes, dans la proportion de 1 volume d'oxygène pour 2 d'hydrogène.

M. Grove ayant reconnu que l'action ne peut avoir lieu qu'à l'endroit où le liquide, le gaz et le métal sont en contact, chercha à obtenir une surface d'action aussi grande que possible. Dans ce but, il employa des lames de platine platiné, c'est-à-dire recouvertes d'une couche mince pulvérulente de platine, suivant le procédé de M. Smee [1]. Les premières expériences furent faites avec des fils de platine au lieu de lames, et ayant réuni voltaïquement cinquante couples semblables, de façon que le fil plongé dans l'hydrogène de l'un communiquât avec le fil plongé dans l'oxygène de l'autre, on parvint à obtenir une pile dont les pôles faisaient diverger un électroscope à feuilles d'or; ces mêmes pôles, lorsqu'ils étaient terminés par des pointes de charbon, donnaient entre eux une étincelle visible en plein jour; la pile produisait une secousse qui pouvait être sentie par cinq personnes réunies ensemble, pouvait décomposer l'iodure de potassium, l'acide chlorhydrique, l'eau acidulée avec l'acide sulfurique, agissait sur l'aiguille aimantée, etc. Les effets étaient les mêmes, que la pile fut chargée par de l'oxygène et de l'hydrogène provenant de la décomposition électrolytique de l'eau, ou par de l'oxygène et de l'hydrogène préparés par des procédés purement chimiques. Cette nouvelle pile ou batterie fut nommée *pile* ou *batterie à gaz* par M. Grove qui lui donna différentes formes dont la der-

[1] Ce procédé consiste à se servir des lames de platine qu'on veut platiner, comme d'électrodes négatifs dans une dissolution de chlorure d'or; elles se recouvrent bientôt d'un dépôt de platine pur, mais à l'état d'une grande division.

à laquelle il s'est arrêté, nous paraît la plus convenable.
a description :

que auge est formée (fig. 318) d'un flacon *a* en verre embouchures semblable aux de la fig. 310, qui nous ont ans la construction de la pile e à établir la loi des équivalents intérieur même de la pile. Un m en verre *b* ferme l'embou- lu centre ; des tubes *o* et *h* s'aju- actement dans les deux autres ures au moyen de bourrelets en ui font corps avec ces tubes et t usés extérieurement à l'émeri le bouchon de l'ouverture ; tube contient une lame de platiné qui est un peu moins que le tube, et qui se termine

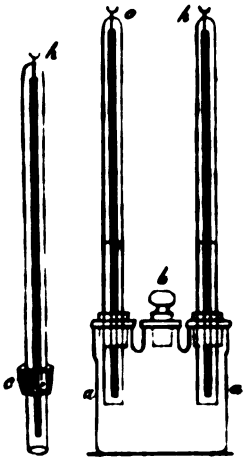


Fig. 318.

urement par un fil de platine fort ; ce fil traverse le haut dans lequel il est hermétiq ment scellé, et porte un petit

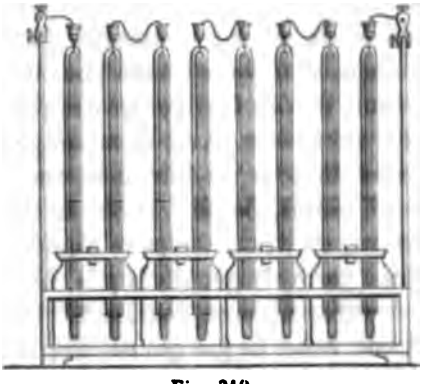


Fig. 319.

en cuivre qu'on remplit de mercure [1] qui sert à établir, yen de fils métalliques recourbés, la communication entre

[1] peut avantageusement remplacer les godets par de petites pinces métal-

les couples successifs, comme on le voit dans la fig. 319. Pour introduire dans les tubes l'eau acidulée, on commence par en remplir complétement le flacon, puis on le retourne en ayant soin de retenir avec les doigts le bouchon du verre et les tubes; ceux-ci étant en bas se remplissent bientôt du liquide, surtout si on a soin de l'agiter un peu pour chasser l'air. Enfin on introduit les gaz dans chaque tube, soit au moyen d'un tube recourbé qui communique au récipient où est le gaz, soit, ce qui est plus commode, en opérant au moyen d'une pile ordinaire la décomposition de l'eau dans chaque flacon. Comme il ne faut que moitié moins d'oxygène que d'hydrogène, l'un des tubes est plus étroit que l'autre, et c'est dans celui-là qu'il faut avoir soin d'introduire l'oxygène. Du reste, les tubes sont gradués avec soin de manière à pouvoir mesurer les volumes gazeux. L'avantage de cette disposition de la pile à gaz est, d'abord, qu'on peut en plongeant le flacon dans la cuve pneumatique en détacher chaque tube pour mesurer et examiner le gaz qu'il renferme; c'est en outre que l'intérieur du flacon est parfaitement imperméable à l'air, et enfin qu'étant exclusivement composé de verre et de platine, il peut renfermer des liquides électrolytiques de toute espèce, même les plus corrosifs.

Un seul couple de la pile à gaz construit d'après la description que nous venons d'en donner suffit pour décomposer l'iodure de potassium; il n'en faut que quatre pour décomposer l'eau acidulée du voltamètre. Avec deux couples la décomposition s'opère assez vite pour produire dans une expérience, au bout de trente-six heures, 34 cent. cubes de mélange gazeux dans le voltamètre; en même temps le liquide a monté dans chacun des tubes à gaz hydrogène de la pile, de 24 cent. cubes, et dans chacun des tubes à gaz oxygène, de 11 cent. cubes, ce qui fait en tout 35 cent. cubes de gaz qui ont disparu dans chaque couple; quantité presque exactement équivalente à celle qui a été dégagée dans le voltamètre. Souvent il disparaît dans les couples un peu plus d'hydrogène que la quantité équivalente à celle de l'oxygène absorbé, ce qui tient à la combinaison qui s'opère sous l'influence du platine entre l'hydrogène qui est dans le tube et l'oxygène dissous dans l'eau. Cette espèce d'action locale

eu également que le couple fasse partie du circuit voltaïque ne soit pas en activité.

Pour démontrer l'exactitude de cette explication, il faut ser de la dissolution acide, autant que possible, tout r qui y est dissous, et pour cela il suffit, après avoir fait bien illir cette dissolution, de placer dans le vide l'auge et les x tubes qui la contiennent, pendant vingt-quatre à quarante-it heures. On remplit ensuite, au moyen d'un courant vol-que, l'un des tubes d'oxygène, et l'autre d'hydrogène; puis, s avoir laissé l'appareil, pendant deux ou trois semaines, sans cher, on trouve que le volume d'hydrogène a encore un peu inué, mais bien moins que quand on n'a pas chassé l'air; olume de l'oxygène n'a pas changé. On prend, par contre, autre auge, et, loin d'en chasser l'air, on y met aussi peu quide que possible, seulement ce qu'il en faut pour que tubes puissent tremper dans la couche liquide par leurs mités inférieures; le reste du flacon est rempli d'air atmo-rique, mais cet air ne communique point avec l'air exté-r, le flacon étant hermétiquement fermé. Au bout de douze inze jours, on peut constater que l'hydrogène a consi-blement diminué : dans une expérience il avait dimi-é de 32 centimètres cubes ; et si on introduit dans l'auge, moment où elle s'ouvre, une allumette enflammée, on la s'éteindre immédiatement, parce qu'il ne reste que de ote dans l'air de la partie supérieure du flacon, et que ygène de cet air a été graduellement absorbé par le liquide r venir se combiner avec l'hydrogène. Ainsi l'hydrogène, s l'influence du platine, se combine avec l'oxygène dissous s le liquide avec lequel cet hydrogène et ce platine sont en act, et le liquide, reprenant de l'oxygène à mesure que le disparaît, peut ainsi l'enlever graduellement presque en er à de l'air atmosphérique qui est en contact avec lui[1].

[1]. Grove a essayé d'appliquer cette propriété à la détermination eudiomé-e de la quantité d'oxygène que renferme l'air. Dans ce but il place dans une e étroite, où il y a de l'acide sulfurique étendu, deux tubes étroits de 15 à centimètres de longueur remplis d'air atmosphérique ; ces tubes portent graduation. On place dans l'un des tubes une lame de platine platinée

M. Grove a réussi a obtenir, par cette action seule, un courant suffisamment énergique, en supprimant l'oxygène dans la pile à gaz et en le remplaçant simplement par de l'eau acidulée; l'effet en est d'abord presque aussi fort que celui de la pile où sont également les deux gaz, mais l'action diminue rapidement, tandis qu'elle est constante dans l'autre.

M. Schoenbein attribue le dégagement de l'électricité dans la pile à gaz de Grove à l'hydrogène, et par conséquent à l'action chimique qui a lieu entre lui et l'eau acidulée; il estime que l'oxygène en contact avec le platine n'a pour effet que de dépolariser ces lames sur lesquelles l'action voltaïque amène constamment, pendant que la pile est en activité, de l'hydrogène, qui alors, au lieu de rester en couche mince sur le métal, est enlevé par l'oxygène qui s'y trouve, en se combinant avec lui. Il doit nécessairement en résulter que l'effet de la pile n'est plus affaibli comme lorsque l'hydrogène demeure adhérent au platine. Mais, tout en admettant la réalité de l'effet signalé par M. Schoenbein, ne peut-on pas dire que la combinaison chimique de l'oxygène avec l'hydrogène naissant en même temps qu'elle dépolarise le platine, contribue à la production de l'électricité comme le peroxyde de plomb qui recouvre le platine dans les couples zinc et platine, ainsi que nous l'avons vu plus haut. Du reste, la présence de l'oxygène est nécessaire à la production du courant. Ainsi M. Grove s'est assuré que, dans la pile où on le remplace par la dissolution d'acide sulfurique, il n'y a pas d'effet produit si les couples étant placés dans une atmosphère d'azote, il ne peut y avoir d'oxygène dissous dans le liquide. Il a d'ailleurs montré qu'on peut former également une pile active avec l'un ou l'autre des deux éléments gazeux, soit en remplaçant l'oxygène par un

qui est mise en communication métallique avec une lame semblable placée dans un tube plein de gaz hydrogène qui plonge dans le même vase; l'autre tube plein d'air sert seulement à déterminer combien il s'en est dissous pendant la durée de l'expérience. Dans une expérience qui avait duré deux jours, le liquide avait monté de 22 divisions dans le premier tube, de 1 dans le second, ce qui donne 21 pour 100 pour la quantité d'oxygène qui se trouve dans une certaine quantité d'air. Au bout de plusieurs jours le résultat n'avait pas changé.

rolyte qui ait beaucoup d'affinité pour l'hydrogène, tel que de nitrique; soit en remplaçant l'hydrogène par un électrolyte qui ait beaucoup d'affinité pour l'oxygène, tel que le protosulfate de fer. Il est vrai que la pile à acide nitrique et à oxygène est plus forte, et surtout plus constante, que celle à oxygène et à protosulfate de fer; mais cela tient à la nature de l'action chimique et à ce qu'une grande partie du protosulfate est à l'état de sulfate de peroxyde par l'effet direct de l'oxygène de l'air; ce qui diminue l'action de l'oxygène de la pile. Nous pouvons donc regarder les deux gaz comme contribuant directement l'un et l'autre à l'effet voltaïque dans la pile à gaz. Quant à la théorie de cette pile, elle est exactement la même que celle que nous avons exposée pour les piles dans lesquelles les métaux sont les éléments actifs. L'hydrogène adhérent à la surface du platine dans la ligne de contact entre la surface et le liquide, polarise les filets de ce liquide, de sorte que les oxygènes négatifs de toutes leurs particules sont tournés de son côté et les hydrogènes positifs de l'autre; l'oxygène adhérent à la surface du second platine produit sur les mêmes filets un effet analogue, qui s'ajoute au premier puisque il agit dans le même sens. Quand on unit métalliquement les deux lames de platine, l'électricité négative libre de la lame qui est en contact avec l'hydrogène se réunit avec la positive de celle qui est en contact avec l'oxygène; la décomposition et la recomposition des molécules successives des filets adhérent, et en même temps que l'oxygène de l'une des molécules extrêmes se combine avec l'hydrogène adhérent au platine, l'hydrogène de l'autre molécule extrême se combine avec l'oxygène adhérent à l'autre platine. Ajoutons, à l'appui de la théorie que nous venons d'exposer, que M. Grove a démontré par des expériences directes que la partie active dans la pile à gaz ce sont les portions du platine, qui dans chaque tube entourent le liquide à mesure qu'il s'élève dans le tube; et c'est effet les seules où il puisse y avoir contact à la fois entre le liquide et le gaz adhérent au platine[1].

[1] Cependant il résulte d'une observation de M. Jacobi, confirmée par M. Pog-

Cette affinité à distance, comme M. Faraday l'a si bien caractérisée, qui s'exerce par l'intermédiaire des molécules liquides, interposées d'une part, et de l'arc métallique qui les unit d'autre part, entre l'hydrogène et l'oxygène qui sont séparés par le liquide, peut avoir lieu à des distances infiniment petites et constituer, comme dans les couples voltaïques ordinaires, l'action locale; c'est ce qui arrive quand le liquide en contact avec l'hydrogène renferme de l'oxygène dissous. Les molécules d'eau polarisées par l'hydrogène qui adhère au platine dans la portion où ce platine affleure la surface du liquide, trouvent de l'oxygène sur le platine au-dessous de cette surface; voilà aussitôt un petit circuit moléculaire formé. Ce n'est donc point l'oxygène dissous qui se combine directement avec l'hydrogène libre; mais cet oxygène sert à former un circuit actif analogue à celui qui a lieu dans le couple ordinaire, avec la seule différence qu'il est moléculaire et que l'arc métallique qui entre dans sa formation n'est qu'une petite portion de la surface du platine placé dans le tube à hydrogène; c'est de même l'oxygène, adhérent à la lame de platine placée dans la dissolution d'acide sulfurique, qui sert à la production du courant, quand on remplace par cette dissolution l'oxygène des tubes. Cet oxygène est inutile, lorsqu'au lieu d'une dissolution d'acide sulfurique on prend de l'acide nitrique qui lâche si facilement son oxygène, que son emploi est préférable pour la force de la pile, à celui de l'oxygène lui-même. En effet, trois couples suffisent dans ce cas pour décomposer l'eau, tandis qu'il en faut quatre avec la pile à gaz oxygène. Le peroxyde de plomb produit un

gendorff, que la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène sous l'influence du platine peut avoir lieu quand même ces gaz ne sont pas immédiatement en contact avec le liquide, et en sont séparés par le liquide électrolytique. Ainsi M. Poggendorff ayant dégagé 56 centimètres cubes de mélange gazeux dans un voltamètre à lames nouvellement platinées, en ayant pris soin que les lames restassent toujours au-dessous du niveau du liquide, il observa que la réabsorption des gaz se faisait avec une vitesse immense, tellement que dans quelques instants plusieurs centimètres cubes avaient disparu; la réabsorption se ralentissait ensuite, mais elle finissait cependant par s'opérer entièrement. Il résulte de ce fait que la combinaison ne se fait pas exclusivement à la place que M. Grove lui a assignée; circonstance du reste peu importante.

e encore plus grand; un seul couple, hydrogène et platine uvert de peroxyde de plomb, décompose facilement l'eau. ntons que dans la pile à gaz, l'oxygène au lieu d'être simment adhérent, est très-probablement combiné avec le pla- de manière à former un oxyde facilement réductible; c'est qui résulte de l'examen de toutes les circonstances qui faci- nt l'action de l'appareil telles en particulier que l'état pul- ulent du platine, et ce qui est d'ailleurs d'accord avec les s que nous avons déjà rapportés en faveur de l'oxydation du tine[1].

La pile à gaz de Grove nous présente un exemple frappant, et dirai piquant, de la loi des équivalents de Faraday. Nous ons la combinaison d'un équivalent d'hydrogène et d'un ivalent d'oxygène produire un courant capable de décom- er un équivalent d'eau, c'est-à-dire une quantité d'eau pré- ment égale à celle dont la formation a donné naissance à ce rant. Au premier abord on ne conçoit pas que la force que duit la formation de l'eau soit suffisante pour surmonter la ce par laquelle ses molécules constituantes sont déjà unies. st facile de répondre à cette objection en ce qui concerne la omposition de l'eau dans le voltamètre, car une décompo- ion ne peut avoir lieu qu'autant qu'il y a plus d'un couple, moins quatre, et que par conséquent nous avons quadruplé, formément à la théorie de la pile, la force décomposante. S'il git d'un seul couple dont les lames de platine sont unies alliquement, l'objection est plus spécieuse et elle a été pro- ée par M. Grove lui-même. Cependant il faut remarquer que que molécule des filets d'eau interposés entre les deux es du couple, est soumise à deux forces décomposantes qui ent dans le même sens, l'une qui tire l'oxygène du côté la lame de platine où est l'hydrogène, l'autre qui tire drogène du côté de la lame de platine où est l'oxygène. ue ne peut pas faire l'une de ces actions quand elle est e, ainsi que le prouve l'expérience[2], les deux réunies

[1] Tome II, page 354.

[2] En effet on n'obtient jamais de courant, ni par conséquent de décomposition

l'opèrent, car si on prend l'une des molécules d'eau dans le filet, il est facile de voir que l'affinité de son hydrogène pour son oxygène est combattue à la fois par la force avec laquelle son hydrogène est tiré par l'oxygène de la molécule suivante et par celle avec laquelle son oxygène est tiré par l'hydrogène de la molécule précédente, et ainsi de suite pour toutes les autres.

M. Grove a fait un très-grand nombre d'expériences sur la pile à gaz en remplaçant l'oxygène et l'hydrogène, soit séparément, soit simultanément, par d'autres substances gazeuses. Les expériences ont toutes donné des résultats parfaitement conformes à la théorie que nous avons exposée. Ainsi, l'azote mis à la place, soit de l'oxygène, soit de l'hydrogène, n'a produit aucun effet. Le protoxyde d'azote associé avec l'oxygène n'en a point produit non plus de sensible; il n'en a pas été de même du deutoxyde qui donne avec l'oxygène un léger courant, et diminue quand le circuit est longtemps fermé, dans la proportion de 4 volumes de deutoxyde pour 1 d'oxygène. Associés avec l'hydrogène les deux gaz produisent un courant prononcé; le volume du deutoxyde diminue de moitié, et le résidu gazeux est de l'azote; le volume augmente ensuite graduellement par l'addition de l'hydrogène; le protoxyde ne subit pas de changement de volume, mais son changement chimique est accusé par l'absorption de l'hydrogène qui forme le couple avec lui. Le gaz oléfiant semble donner un courant continu avec l'oxygène, mais très-faible. Les gaz qui paraissent être les plus efficaces sont d'une part l'oxygène et le chlore, d'autre part l'hydrogène et l'oxyde de carbone. Le chlore et l'hydrogène forment une combinaison si forte, que deux couples suffisent pour décomposer l'eau dans le voltamètre; le chlore et l'oxyde de carbone produisent également des effets considérables, quoique moins énergiques que le chlore et l'hydrogène. Mais l'extrême solubilité du chlore rend son emploi peu satisfaisant

de l'électrolyte avec un seul couple quand on supprime l'hydrogène en ne laissant que l'oxygène, ou quand, en ne laissant que l'hydrogène, on a soin de chasser tout l'oxygène qui pouvait se trouver dissous dans le liquide.

·oduction d'un courant de quelque durée. L'oxygène
de carbone sont des quatre combinaisons qu'on peut
les quatre gaz indiqués plus haut, celle qui a le moins
; cependant une pile de dix couples chargée ainsi dé-
l'iodure de potassium et un peu d'eau du voltamètre.
ve, ayant constaté que l'azote était inactif, essaya de
· comme dissolvant de quelques corps, tels que le phos-
e soufre. Dans ce but, après avoir rempli d'azote l'un
du couple et l'autre d'oxygène,
isait le phosphore ou le soufre
te au moyen d'une tige terminée
etite capsule, dans laquelle il lo-
ubstance. Le couple ainsi formé
donnait un fort courant; seule-
nd le corps introduit était du sou-
llait élever la température, ce
sait au moyen d'un simple an-
r muni d'un manche qu'on pas-
essus le tube contenant le soufre
, après l'avoir assez fortement
ur amener le soufre à l'état liqui-
es expériences ce sont les vapeurs

Fig. 330.

ore et celles de soufre qui, logées dans l'azote inac-
t le rôle que jouait l'hydrogène dans la pile à gaz et se
t à distance, sous l'influence du platine, comme le fai-
z, par l'intermédiaire du liquide électrolytique, avec
enfermé dans l'autre tube. Des piles de dix couples
avec oxygène et vapeur de phosphore décomposent
on trouve, en pesant le phosphore avant et après l'ex-
qu'on fait durer d'autant plus longtemps que la
ure extérieure est plus basse, et en mesurant de
volume de l'oxygène, que ce gaz et le phosphore ont
à peu près dans un rapport égal à celui de leurs
ts, et à l'équivalent de l'eau décomposée par le cou-

donc maintenant bien établi, par les recherches de
, que l'action des fluides élastiques, dans leur contact

avec un liquide électrolytique, peut, sous l'influence du platine, développer un courant électrique, et que cette action électro-chimique est soumise aux mêmes lois que les autres, et en particulier à la loi des équivalents. Quant à la force de cette action, elle dépend non-seulement de la nature du gaz et du liquide électrolytique, mais aussi de celle du métal dont la présence détermine l'action chimique. Le même métal varie à cet égard avec la nature de sa surface. Ainsi M. Poggendorff a remarqué que des lames de platine bien polies peuvent acquérir un maximum de polarisation supérieur à celui des lames platinées, mais que le maximum est plus vite obtenu avec ces dernières, et qu'il varie moins par le changement de la force du courant qui produit la polarisation, que celui des lames polies. En effet, le courant produit par les couches de gaz dont sont recouvertes les surfaces des électrodes qui ont servi à la décomposition, et qui ont acquis ainsi les polarités secondaires, varie avec la force du courant qui a produit ces polarités. C'est ce que nous verrons dans le paragraphe que nous consacrerons à la mesure des forces électromotrices, en exposant comment on est parvenu à déterminer celle des gaz dans les diverses conditions où ils peuvent se trouver, de la même manière qu'on a déterminé celle des solides; nous verrons également l'importance que présente cette détermination dans l'appréciation de la force électromotrice des piles, et dans celle de l'influence qu'exerce sur cette force l'interposition dans les piles de couples inactifs; car les polarités secondaires qu'acquièrent les métaux qui ont fait partie d'un circuit sont presque toujours dues à des couches gazeuses déposées à leur surface par le courant, et par conséquent leur influence, qui tend à produire un effet contraire à celui du courant qui leur a donné naissance, ne peut être exactement évaluée qu'autant qu'on connaît la force électromotrice des gaz[1].

[1] Il peut arriver que dans certains gaz, la puissance d'une couche de gaz sur la surface d'un métal, au lieu de diminuer augmente la force électromotrice de ce métal; ainsi, comme l'a observé M. Buff, quand on a fait déposer sur la surface du zinc une couche mince d'hydrogène, en s'en servant comme d'électrode négatif dans la décomposition de l'eau, cette lame devient fortement positive par

utefois nous pouvons dès à présent nous rendre compte de
ience de certaines causes sur la diminution de la résis-
que présentent à la transmission du courant, les électrodes
ervent à la décomposition de l'eau acidulée dans les vol-
res. Ainsi, lorsqu'on décompose l'eau avec un seul couple
le nitrique, et même à peroxyde de plomb, l'action est
vite arrêtée ou extrêmement affaiblie par l'effet de la po-
tion des électrodes qui exercent une force électromotrice
ée à celle du couple : or il suffit, pour lui redonner toute
acité primitive, de changer le sens du courant dans le
nètre, parce qu'alors on fait agir les deux forces électro-
ces dans le même sens. Mais bientôt la nouvelle polarisa-
u'acquièrent les électrodes affaiblit de nouveau le cou-
de sorte que, pour lui rendre de nouveau son pouvoir,
t encore changer sa direction. En déterminant donc ces
atives dans la direction du courant, on obtient facile-
une décomposition assez forte de l'eau du voltamètre au
n d'un seul couple. On peut se servir d'un commutateur
ar l'action elle-même, en lui imprimant le mouvement
saire au moyen d'un électro-aimant placé dans le circuit,
i est disposé de façon que lorsque sa puissance diminue
affaiblissement même du courant, son armure, en se dé-
nt, fasse marcher le commutateur. M. Grove a trouvé
vantage à interposer entre le couple et le voltamètre deux
s lames de platine plongeant dans de l'acide sulfurique
lu qui, sans dégager de gaz visible, sont polarisées par le
ant; ce sont sur ces lames qu'agit le commutateur, de
i que c'est leur force électromotrice qui s'ajoute à celle
ourant, ce qui fait que celui-ci va toujours dans le même
dans le voltamètre proprement dit. Trois expériences faites
un seul couple à acide nitrique ont donné dans le même
s au voltamètre :

Sans lames de platine interposées. . .	2cc, 4
Avec lames interposées.	1cc, 6
Avec lames et commutateur.	3cc, 7

t à une autre semblable qui n'a pas été placée dans les mêmes conditions ;
m constate soit par la charge qu'elles donnent au condensateur, soit par
s du courant qu'elles produisent en formant un couple.

L'augmentation d'effet dû à ce que M. Grove nomme la *réaction voltaïque* est donc bien sensible.

Parmi les causes qui diminuent la résistance au passage dans un voltamètre, nous avions signalé[1] le réchauffement et l'ébranlement des électrodes, et plus particulièrement de l'électrode négatif. M. Beetz a réussi à démontrer que l'effet de ces deux actions tient à ce qu'elles diminuent ou détruisent la polarisation des électrodes. Il a remarqué que lorsque le courant est faible, la destruction ou diminution de polarisation par le réchauffement est, comme je l'avais déjà observé, plus sensible pour l'électrode négatif, mais qu'elle devient la même pour tous les deux quand le courant est fort, ce qui tient à ce que la force électromotrice de l'électrode polarisé par l'hydrogène est très-supérieure à celle de l'électrode polarisé par l'oxygène; d'où résulte que la différence entre eux, sous ce rapport, doit être bien plus sensible lorsque le courant, et par conséquent les deux polarisations, sont faibles. Du reste, l'influence de la température sur la polarisation des électrodes doit varier non-seulement avec la force du courant, mais avec la nature des électrodes eux-mêmes et du liquide électrolytique placé entre eux.

Il nous reste encore, avant de terminer ce paragraphe, à traiter quelques points qui s'y rattachent. Nous devons d'abord faire mention d'une nouvelle classe de couples gazeux découverte par M. Gaugain, en faisant des recherches sur la thermo-électricité, et que nous avons déjà signalée en passant[2]. Le plus simple de ces couples est celui qu'on obtient en mettant en présence, à une température élevée, deux tubes en verre qui contiennent, l'un de l'air, l'autre de la vapeur d'alcool. M. Gaugain a réussi à produire avec ces couples, qu'on peut disposer bout à bout de manière à en former une véritable pile, tous les effets des couples hydro-électriques ordinaires. Il a reconnu que la nature des fils métalliques qui servent à mettre les tubes de verre en communication, soit avec

[1] Tome II, pages 16 et 348.
[2] Tome II, page 362.

le sol, soit avec le condensateur, n'influe point sur les résultats, et que ces fils ne jouent par conséquent que le rôle de simples conducteurs. En formant une série de couples gazeux avec l'air, l'oxygène, l'azote, l'acide carbonique, l'hydrogène, les vapeurs d'eau, d'alcool ou d'éther, M. Gaugain n'a trouvé d'actifs que ceux dans lesquels l'un des deux éléments était l'air ou l'oxygène, et l'autre l'un des fluides élastiques différents de ces deux gaz; il avait soin de boucher le tube de verre aux deux bouts quand il le remplissait d'un fluide élastique autre que l'air ou l'une des vapeurs. Il est disposé à conclure de ses recherches que l'électricité provient uniquement d'une action qui s'exerce entre l'oxygène et le verre qui est amené à l'état de fusion, et que le second fluide élastique ne joue que le rôle d'un simple conducteur. Nous serions plutôt disposés à croire, tout en admettant l'action de l'oxygène sur le verre fondu, que les phénomènes observés par M. Gaugain rentrent tout à fait dans ceux de la pile à gaz de Grove, avec cette différence que le liquide électrolytique qui sépare les deux fluides élastiques est du verre fondu, au lieu d'une dissolution d'acide sulfurique; or, que le verre fondu puisse servir de liquide électrolytique, c'est ce que démontrent des expériences récentes de Buff, qui non-seulement en a obtenu la décomposition par un courant voltaïque, mais a même réussi à l'employer en cette qualité dans la construction d'une pile.

Un autre point dont nous avons encore à parler, c'est la propriété découverte par M. E. Becquerel, que possède l'hydrogène d'opérer, sous l'influence du platine, la réduction d'une dissolution de chlorure d'or, que ni l'hydrogène seul, ni le platine seul ne sont capables de réduire.

On place une petite éprouvette remplie de gaz hydrogène, de 2 à 3 millimètres de diamètre, dans un vase contenant une dissolution de chlorure d'or, de manière qu'elle y plonge par son extrémité ouverte. Au bout de quelques jours, si la température n'a pas sensiblement varié, le niveau du chlorure d'or dans l'intérieur du tube est resté à peu près le même; mais si l'on introduit un fil de platine au-dessous de l'éprouvette, de manière que ce fil se trouve en partie plongé dans le

gaz hydrogène, en partie plongé par son autre extrémité dans le chlorure d'or, on voit alors le gaz diminuer de volume à l'intérieur, et même au bout d'un certain temps disparaître complétement si le fil de platine va jusqu'au haut du tube. En même temps que l'hydrogène disparaît, de l'or métallique se précipite sur la portion du fil de platine qui plonge dans la dissolution métallique. Cette action se manifeste dans des tubes fermés, et dans lesquels il n'y a pas trace d'air atmosphérique: l'effet n'est point dû à l'action du liquide sur le platine, puisque le platine seul ne l'exerce point et qu'il ne reste pas trace de platine dans la dissolution après l'opération. Si l'on remplace le fil de platine par un fil d'or, la réduction du chlorure dans l'hydrogène n'a plus lieu. Cet effet est évidemment le résultat d'une action locale, c'est-à-dire d'un courant moléculaire qui part des particules d'hydrogène adhérentes à la surface du platine, à l'endroit où ce métal touche la surface de la dissolution de chlorure d'or, traverse une petite couche de cette dissolution, vient aboutir à la partie du platine qui y étant plongée n'est plus recouverte d'hydrogène, et y dépose l'or. L'affinité de l'hydrogène pour le chlore est ici suffisante à elle seule pour déterminer la formation du circuit voltaïque, et par conséquent l'électrolysation de la dissolution.

Enfin il nous reste à parler d'un phénomène que nous avons déjà mentionné en passant [1], et qui consiste dans cet état particulier que peut prendre le fer, en vertu duquel il devient inattaquable par les acides et peut jouer dans bien des cas le rôle du platine; état que M. Schoenbein, qui en a fait une étude toute particulière, a désigné sous le nom de *passivité*, en appellant *fer passif* le fer qui le possède.

Déjà Bergmann et Kirwan avaient remarqué que le fer employé pour précipiter l'argent de sa dissolution perd cette propriété au bout d'un certain temps; Keir montra que le fer employé ne peut plus précipiter l'argent, non-seulement de la dissolution où il a été d'abord plongé, mais d'aucune autre. Braconnot ayant remarqué que l'acide nitrique concentré n'at-

[1] Tome II, page 362.

me pas le fer, Herschell examina de près ce sujet; il ob-
que le fer doux et décapé, plongé dans l'acide nitrique
,40, commence par brunir; puis qu'il se produit une effer-
ence pendant laquelle le liquide devient rougeâtre; toute
on cesse bientôt et le fer a acquis la propriété de n'être plus
qué; une légère friction ne lui enlève pas cette propriété,
il la perd, si on le frotte trop fortement; il la perd égale-
t si on le touche dans un liquide électrolytique avec un métal
dable; le fer, dans cet état, peut résister à l'action d'un
e très-fort. Mais de tous les physiciens, M. Schoenbein est
i qui a fait l'étude la plus détaillée de ce sujet; aussi ce sont
travaux qui nous dirigeront essentiellement.

orsqu'on chauffe jusqu'au rouge l'une des extrémités d'un
e fer, et qu'après son refroidissement on le plonge dans de
ide nitrique de 1,35 de densité, cette extrémité n'éprouve
une action de la part de l'acide, tandis que le même acide
t vivement sur l'extrémité du fil de fer non chauffée. Un fil
er passif ou inactif peut rendre passif un qui ne l'est pas.
uffit pour cela de les placer dans l'acide nitrique de 1,35
ensité, après les avoir mis en contact, en ayant soin d'intro-
re le premier le fil passif : les deux fils n'éprouvent alors
lement aucune action chimique; il en est de même quand
les sépare. On peut même rendre passif un fil de fer qui
éprouve une vive action dans l'acide nitrique, en plongeant
s le circuit acide un fil de fer déjà passif, et en mettant en
tact les deux fils par celles de leurs extrémités qui sont en
ors du liquide. Le platine, le charbon et tout métal non
dable peuvent, aussi bien que du fer déjà passif, donner
leur contact la passivité à un fil de fer qui ne la possède
. Un couple de fer et platine entièrement plongé dans
ide nitrique ne donne aucun effet quand on chauffe gra-
lement l'acide, sauf lorsque l'acide commence à entrer en
ilition; le fer alors est attaqué, et ne tarde pas à être
ous.

e fer passif peut rester très-longtemps, trente jours et plus,
s de l'acide nitrique, sans perdre sa propriété de n'être pas
qué; il la conserve quand on le retire de l'acide, lors-

même qu'on l'expose à l'air ou qu'on le plonge dans de l'eau pure ou dans l'ammoniaque; mais dès qu'on frotte sa surface, il redevient actif.

Un fil de fer passif jouit de toutes les propriétés d'un fil de platine; ainsi il peut servir d'électrode positif à une pile dans une dissolution acide quelconque, aussi bien sulfurique que nitrique, et l'oxygène s'y dégage dans la proportion voulue, pendant que le dégagement d'hydrogène a lieu à l'électrode négatif, qui est de platine. Ainsi encore, de même que le platine, il ne précipite plus le cuivre et les métaux oxydables de leurs dissolutions respectives, propriété sur laquelle nous reviendrons dans le chapitre de la sixième partie, qui sera consacré aux applications chimiques de l'électricité. Quand la pile est une pile simple composée d'un seul couple, si l'on emploie un fil de fer passif comme son électrode positif, tandis qu'un fil de platine est son électrode négatif, il n'y a aucune décomposition en plongeant les deux fils dans une dissolution d'acide sulfurique, tandis qu'il y a un fort dégagement d'hydrogène autour du fil de platine quand on prend pour l'autre électrode du fer ordinaire ou du métal oxydable. On peut également produire momentanément ce dégagement d'hydrogène en mettant un instant en contact dans le liquide, le fer passif qui forme le couple fer et platine avec un métal oxydable, tel que du zinc, de l'étain, du cuivre ou même de l'argent; mais le dégagement de gaz qui a lieu ensuite sur le platine ne dure que peu de secondes.

On peut encore rendre passif un fil de fer en s'en servant dans de l'eau acidulée avec l'acide sulfurique, comme électrode positif d'un fort courant produit par un seul couple, et dont l'électrode négatif est un fil de platine. La décomposition de l'eau n'a pas lieu d'une manière sensible; mais si l'on touche un instant l'électrode de fer avec celui de platine dans le liquide même, la décomposition a lieu vivement dès qu'on les sépare l'un de l'autre, pour cesser un instant après. On produit le même effet en touchant le fer avec un métal oxydable dans le même liquide. Mais le fait le plus curieux est que si on réunit, extérieurement au liquide, les deux fils qui servent d'élec-

es par un fil de cuivre, on obtient encore un dégagement drogène très-momentané, comme le précédent, au moment 'on enlève le fil de cuivre qui unissait les deux électrodes. il de cuivre ne doit avoir que 7 à 8 centimètres de longueur se 1 à 1 ½ millimètre de diamètre. Quand il est plus long plus mince, on obtient un dégagement d'hydrogène pen- ; le temps même où l'on s'en sert pour réunir les électrodes,) dégagement augmente à mesure qu'on allonge le fil jus- ce qu'il ait un peu plus de 5 mètres de longueur. Au ment où l'on enlève le fil de cuivre qui établissait la com- nication entre les électrodes, le dégagement d'hydrogène ent beaucoup plus vif qu'il n'était pendant que la commu- tion existait, mais il ne dure pas longtemps, et la décom- tion s'arrête. Lorsque le fil de cuivre est excessivement , de telle façon que probablement il ne transmet plus ne proportion très-minime du courant, les choses se passent me si les électrodes n'étaient pas unis par une communica- conductrice.

ous ces effets, et bien d'autres dans les détails desquels il ; est impossible d'entrer, et qui ont été, pour le plus grand bre, observés par M. Schoenbein, tiennent évidemment à la riété que possède le fer de se recouvrir d'une pellicule yde qui le rend inattaquable par certains acides. Ils ren- t ainsi dans les phénomènes des polarités secondaires, qui ; dus également à des dépôts opérés sur la surface des aux. Faraday, qui a émis le premier cette opinion, remarque n effet toutes les circonstances qui sont propres à rendre le passif sont celles qui doivent déterminer la formation de) couche superficielle d'oxyde; telles sont son réchauffe- t, sa combinaison voltaïque dans un liquide électrolytique un métal non oxydable. Il paraîtrait que cette couche yde ne peut pas former de sels avec les acides, et par con- ent n'a pas de tendance à se combiner avec eux, ce qui iquerait pourquoi ils n'attaquent pas le fer qui en est recou- , lequel se conduit soit chimiquement, soit voltaïquement, me du platine. Ainsi nous avons vu qu'on ne peut décom- r l'eau acidulée avec le courant d'un simple couple ordi-

naire, si les deux électrodes sont en platine; il faut pour cela que le positif soit attaquable par le liquide électrolytique. Or le fil de fer passif n'étant pas attaquable, la décomposition n'a pas lieu s'il sert d'électrode positif. Mais si on unit voltaïquement ce fer dans le liquide avec un métal oxydable tel que le zinc, on détermine sur sa surface un dégagement d'hydrogène qui doit le désoxyder, et par conséquent lui rendre son activité chimique ordinaire. Il est facile d'expliquer de la même manière l'expérience curieuse de M. Schoenbein que nous avons rapportée plus haut. Quand le fort courant a traversé la solution acide au moyen de deux électrodes, l'un le négatif en platine, l'autre le positif en fer, celui-ci est devenu passif par le premier dégagement d'oxygène qui a eu lieu à sa surface, et la décomposition s'est arrêtée; on a alors réuni par un fil de cuivre gros et court, c'est-à-dire par un très-bon conducteur, les deux électrodes; ce fil a servi à la fois à conduire le courant et à former un couple entre les deux électrodes; ce couple formé a détruit la passivité du fer, et l'eau a été décomposée; mais quand on supprime le conducteur, le courant recommence à passer entre les deux électrodes, l'eau est décomposée au premier moment, puis le fer redevient passif, etc. Si le fil de cuivre qui réunit les électrodes est trop long, le phénomène n'a plus lieu, parce que le fil devient trop mauvais conducteur, soit pour dériver le courant qui continue à passer en grande partie entre les électrodes, soit pour permettre à ceux-ci de former un couple suffisamment actif, vu l'imparfaite communication qu'il établit entre eux; ce qui prouve que cette influence de la longueur ne tient qu'à la diminution dans la conductibilité du fil qu'elle occasionne, c'est qu'on obtient le même résultat en faisant usage d'un fil court et mince d'un métal peu conducteur, tel que le fer ou le platine.

On se demandera peut-être comment, en formant un couple avec le fer et le platine qui ont servi d'électrodes, on peut rendre au fer son activité comme on le fait en le mettant en contact dans le liquide avec un métal oxydable; cela tient à ce que le platine joue le même rôle que jouerait le zinc ou tout autre métal oxydable par l'effet de la polarisation que lui a impri-

e le même courant qui a rendu le fer passif. Ce courant, en tant sur le fer l'oxygène qui a déterminé la formation de la che d'oxyde à laquelle est due la passivité, a développé sur platine une couche équivalente d'hydrogène, d'où résulte que métal, en contact ensuite avec le fer positif, devient l'élé- nt positif du couple qui dégage, en décomposant l'eau sur platine, de l'oxygène qui le dépolarise, et sur le fer de l'hy- gène qui désoxyde la surface de ce métal et lui rend ainsi activité chimique.

M. Martens avait attribué la passivité du fer à une modifica- n physique que ce métal aurait éprouvée, de nature à chan- ses rapports voltaïques ; M. Schoenbein, tout en estimant cette modification consiste uniquement dans une altération primée au fer en ce qui concerne ses propriétés chimiques, semblait pas présumer que cette altération provînt de la mation d'un oxyde particulier. C'est à M. Beetz qu'on doit voir mis hors de doute l'existence de cette couche d'oxyde le fer rendu passif; il a démontré, contrairement à Martens, que la couleur bleue que prend du fer quand on le affe est due à la formation d'une légère couche d'oxyde, et il a voir que si cette couche se forme quelquefois dans l'hydro- à la chaleur rouge, cela tient à la décomposition de l'eau renferme ce gaz [1], de sorte que si on parvient à avoir le gaz aitement desséché et parfaitement pur, la coloration n'a lieu, même à une très-haute température.

M. Beetz s'est assuré, en chauffant un fil de fer dans un bain allique et en ayant soin d'empêcher le fil de conserver une che d'air adhérente à sa surface, que ce fil n'est point passif u'il est même positif quand il forme un couple avec un fil er très-poli. Il a démontré, par des expériences multipliées et es avec beaucoup de soin, qu'il suffit de frotter ou de laver s un acide un fil de fer qui a été rendu passif par l'action de haleur ou par celle de l'acide nitrique, pour détruire sa passi- , parce qu'on enlève ainsi la pellicule d'oxyde à laquelle tient

[1] Cette même coloration que prend le fer à une très-haute température dans hydrogène, disparaît à une température moins élevée par la réduction que rogène fait éprouver à la couche d'oxyde.

cette passivité. Il est facile d'expliquer, par la formation ou la réduction de cette couche d'oxyde, tous les phénomènes divers que présente le fer quant à sa passivité et à son activité chimique, lorsqu'il sert d'électrode dans un liquide électrolytique. C'est ainsi que lorsqu'on forme un couple dans l'acide nitrique de 1,40 avec un fil de fer ordinaire et un fil de fer passif, le second rend le premier passif comme le ferait un fil de platine, en déterminant un courant qui l'oxyde légèrement, tandis que lui-même se désoxyde. Il devient alors actif à son tour, et c'est le second qui est rendu passif; le phénomène recommence, les deux fils ayant ainsi changé de rôle, et il peut se renouveler indéfiniment de la même manière.

Le bismuth, le nickel et le cobalt sont susceptibles de devenir passifs comme le fer, soit par l'effet de la chaleur, soit par l'effet de leur emploi comme électrodes positifs dans la décomposition électrolytique de l'eau acidulée. M. Andrews, qui le premier a démontré la passivité du bismuth, l'a obtenue en mettant ce métal en contact avec du platine dans l'acide nitrique de la densité de 1,40; il suffit même, pour se procurer une surface passive de bismuth, de remplir un tube de cuivre de bismuth en fusion et de faire une section dans le culot ainsi refroidi; plongée dans l'acide nitrique de 1,40, cette section n'est pas attaquée. Il est évident que la passivité, dans ce cas comme dans celui du fer, est due à la formation d'une couche mince d'oxyde sur la surface des métaux, couche qui se forme même sur le bismuth à la température ordinaire, ainsi que le prouvent les teintes colorées de ce métal. M. Beetz avait déjà constaté la passivité du nickel; elle a été confirmée par M. Nicklès qui l'a établie également pour le cobalt; il a trouvé que, pour que l'état passif de ces deux métaux soit stable, il ne suffit pas de les plonger dans l'acide nitrique de 1,40, qu'il faut les bleuir à la lampe à alcool ou sur un feu de charbon et les plonger tout bouillants dans cet acide.

Il est donc évident que la passivité n'est qu'un phénomène purement électro-chimique provenant de l'impossibilité où se trouvent les oxydes de certains métaux, lorsqu'ils ne sont qu'à

aible degré d'oxydation, de former des sels avec les acides
ique ou sulfurique. Il résulte de ce défaut d'affinité que
métaux dont il s'agit ne peuvent former avec le platine
couples voltaïques, nouvelle preuve, comme le remarque
Schoenbein, du rôle que joue l'affinité chimique dans la
luction de l'électricité voltaïque, et nouvel argument par
équent, contre la théorie du contact. Envisagée de cette
ière, la passivité n'est que l'effet de la présence d'une couche
ce d'une substance hétérogène (une pellicule d'oxyde) sur
rface d'un métal, ce qui justifie la place que nous avons
rée à son étude dans ce paragraphe.
n dernier phénomène électrique qui provient du dépôt de
hes hétérogènes très-minces sur la surface des métaux, est
i de la production de courants électriques par l'action de
mière sur ces dépôts, quand ils sont d'une nature particu-
. M. E. Becquerel a obtenu en effet des courants électriques
prononcés, en déterminant des actions chimiques au moyen
i lumière sur des plaques métalliques de platine, par exem-
recouvertes d'une couche impressionnable telle qu'une
che de chlorure, d'iodure ou de bromure d'argent. Une pla-
ainsi préparée est plongée dans l'eau acidulée avec une autre
que également de platine, mais dont la surface est parfaite-
nt nette, et on fait communiquer l'une et l'autre avec les
x bouts d'un galvanomètre. Dès qu'on fait agir un rayon
lumière sur la couche impressionnable, on détermine un
rant électrique dans lequel la lame recouverte de cette
che prend l'électricité positive, comme le ferait du per-
de de plomb; effet dû à la combinaison avec l'hydrogène
l'eau, sous l'influence de la lumière, du chlore, du brome
de l'iode de la couche dont la lame de platine est recouverte,
ar conséquent à la décomposition chimique de cette couche.
E. Becquerel a tiré parti de cette propriété pour construire,
s le nom d'*actinomètre électro-chimique*, un appareil qui lui
met d'apprécier, avec la plus grande sensibilité, l'énergie
: laquelle les rayons de la lumière agissent sur une combi-
on chimique, et par conséquent de comparer sous ce rap-
les rayons de diverse réfrangibilité et les modifications que

leur imprime leur passage à travers des écrans de natures diverses. La solution dans laquelle les deux lames sont plongées est une solution étendue de sulfate de soude; les deux lames sont d'argent; l'une est décapée et a sa surface bien nette; l'autre est recouverte d'une couche d'un sous-chlorure particulier d'argent, qui est violet, et qui est de toutes les couches impressionnables celle qui est la meilleure, parce qu'elle donne au galvanomètre, un effet électrique qui est en rapport avec l'action chimique produite [1]. Elle a, en outre, la propriété de recevoir des impressions colorées de la part de tous les rayons lumineux également, et de plus de prendre elle-même une teinte semblable à celle du rayon qui l'a impressionnée; c'est comme une espèce de rétine inorganique. Nous ne pouvons entrer ici dans les détails de construction et de préparation de l'appareil de M. Becquerel et des différentes parties dont il se compose, non plus que dans l'exposition des résultats qu'il a obtenus en s'en servant; ce serait sortir des limites que nous nous sommes imposées, vu qu'il s'agirait des propriétés de la la lumière et non plus de celles de l'électricité, car elle n'est ici que le moyen employé pour obtenir un appareil destiné à un tout autre genre d'études.

§ 4. Production d'électricité dans la combustion et par l'action combinée de la chaleur et de l'affinité chimique.

Une fois qu'il est bien prouvé que toute action chimique donne naissance à de l'électricité, il est évident que la combustion, qui est une des actions chimiques les plus prononcées, doit en dégager aussi. L'étude de l'état électrique de la flamme a attiré l'attention des physiciens dès les premiers temps qu'on s'est occupé d'électricité. C'est surtout sous le rapport de l'influence qu'elle exerce sur les corps déjà électrisés en leur soutirant leur électricité et en s'en chargeant, que la flamme a été envisagée : Dufay, Winkler, Watson, Franklin, Priestley avaient

[1] On produit ce sous-chlorure en se servant de la lame d'argent sur la surface de laquelle on veut qu'il se trouve, comme électrode positif dans de l'acide chlorhydrique ; il faut avoir soin de n'employer qu'un courant de faible intensité.

déjà beaucoup d'expériences sur ce pouvoir des flammes. ıboldt n'avait pas trouvé à cet égard de différences entre les rses espèces de flammes, telles que celles d'une mèche à e, d'une bougie, du phosphore, de l'hydrogène et du re. Il attribuait l'action de la flamme à la conductibilité ensemble des substances qui en émanent, telles que parti- ı charbonneuses, vapeurs d'eau, acide carbonique, etc. ı, qui s'est beaucoup occupé de ce sujet, croyait que la riété de la flamme de décharger les corps électrisés tenait ɔurant d'air qu'elle détermine, et à ce qu'en même temps rend l'air conducteur en le chauffant et le raréfiant. Nous s vu[1] que Riess, après avoir analysé avec beaucoup de soin culté des flammes et des substances en combustion, telles le charbon, de soutirer l'électricité des corps qui en sont gés, avait démontré qu'elles agissent comme une multitude etites pointes; mais il faut pour cela que les filets de va- qui se forment dans la combustion, ainsi que les molé- ı qui jouent le rôle de pointes, soient d'une nature con- rice; tel est le cas, par exemple, avec la vapeur d'eau et articules de charbon.

ı étudiant le pouvoir conducteur des corps en combus- , on n'avait pas tardé à voir qu'il présente des anomalies. ı on avait remarqué que le charbon, lorsqu'on en modère la bustion, décharge inégalement l'électricité positive et la ıtive, et qu'il en est de même de la lampe aphlogistique de [2]; ce qui ne tient point, comme Ermann l'avait cru, à une riété particulière du fil de platine incandescent, mais bien pointes de vapeur qui s'élèvent de ce fil. C'est l'électricité ive que la lampe de Davy transmet le mieux à un conduc- en contact, tandis que c'est la négative qui est le plus ement communiquée dans les mêmes circonstances par une te de charbon en combustion. Nous allons voir que cette

ome II, page 91.

n sait que dans la lampe aphlogistique de Davy, un fil de platine tourné lice est tenu incandescent par la vapeur d'alcool qui vient brûler à sa sur- phénomène qui tient, comme nous l'avons vu plus haut page 350, à une l'oxydations et de réductions qu'éprouve le fil de platine.

inégalité d'action dans la propriété conductrice pour les deux électricités dans ces deux cas n'est qu'apparente, et tient à ce que, dans l'un et dans l'autre, il y a une production même d'électricité par l'effet de la combustion.

Volta avait déjà mis en évidence l'électricité dégagée dans la combustion du charbon, en ne se servant, pour activer cette combustion, que d'un faible courant d'air, afin qu'elle ne fût pas trop vive, car, sans cette précaution, les signes électriques étaient fort peu sensibles. Mais c'est M. Pouillet qui a constaté le premier, par des expériences décisives, la production d'électricité dans la combustion, soit du charbon, soit de l'hydrogène. Il a trouvé, conformément à ce qui a lieu dans le développement d'électricité par les actions chimiques, que le charbon se charge d'électricité négative, et l'acide carbonique qui s'en échappe d'électricité positive : pour obtenir ce résultat, il a taillé en cylindre un morceau de charbon bon conducteur; puis, après avoir enflammé une de ses extrémités, il l'a placé par l'autre bout sur une plaque de métal en communication avec le plateau supérieur d'un condensateur; il a alors soufflé sur le charbon, au moyen d'une vessie remplie d'air, pour entretenir la combustion dans sa partie supérieure seulement; le plateau inférieur étant mis en communication avec le sol, il a réussi à charger le supérieur d'électricité négative. Pour recueillir l'électricité positive dont se charge l'acide carbonique, il faut placer le cylindre de charbon à quelque distance au-dessous de la plaque de métal qui communique avec le plateau du condensateur, en ayant soin de le mettre lui-même en communication avec le sol. L'acide carbonique cède son électricité à la plaque à mesure qu'il s'élève contre sa surface. Dans la combustion de l'hydrogène, l'oxygène s'électrise positivement, et l'hydrogène négativement; pour recueillir l'électricité négative de l'hydrogène, on adapte à la vessie qui le contient un tube de métal qu'on fait communiquer au condensateur, et à l'extrémité duquel on enflamme le gaz, ou bien on ajuste au plateau du condensateur un long fil de platine dont l'extrémité est roulée en spire étroite qu'on fait plonger soigneusement en totalité dans l'intérieur de la flamme. On recueille l'électricité

ve de l'oxygène en présentant la même spire de platine
lque distance de la flamme ; il faut avoir soin de lui don-
n diamètre plus grand que celui de la flamme, de ma-
qu'elle puisse l'envelopper. Elle peut prendre même, à
distance de plusieurs millimètres, l'électricité positive
l'air ambiant s'est également chargé. Il est plus probable
'est la vapeur d'eau et non l'oxygène qui, dans la combus-
e l'hydrogène, prend l'électricité positive comme l'acide
nique la prenait dans la combustion du charbon.

phénomènes électriques qui accompagnent la combus-
ont moins simples que cela ne paraîtrait, d'après les ré-
s obtenus par M. Pouillet ; c'est surtout dans l'électricité
légagent les flammes que les anomalies sont sensibles.
nkel s'est assuré, au moyen d'une lame de platine placée
ssus de la flamme d'une lampe à alcool, que celle-ci se
e d'électricité positive, pourvu que la lampe commu-
avec le sol. Il faut que la lampe soit en métal ; si elle
verre, on place un fil de platine à la base de la mèche
ns l'alcool qu'on fait communiquer avec le sol. On re-
e de l'électricité négative en faisant communiquer avec le
nsateur, soit ce fil, soit la lampe, et en mettant la lame de
e qui est au-dessus de la flamme en communication avec
; ces conditions sont indispensables pour avoir des signes
iques. En prenant, comme avec une espèce de sonde, au
n de fils de platine enfermés dans des tubes de verre, et
l'extrémité seule est à nu, l'électricité des différentes par-
le la flamme, M. Hankel leur a trouvé des tensions très-
entes. Avec une petite flamme de gaz hydrogène sortant
robinet en laiton qui communiquait avec le sol, il a ob-
des signes d'électricité positive qui allaient en croissant
nsité à mesure que le platine qui la soutirait s'approchait
xtrémité de la flamme, et qui était à son maximum à cette
mité même. Les effets étaient semblables, seulement l'élec-
é était de nature contraire, quand la lame de platine com-
quait avec le sol, et le robinet avec le condensateur.
tre les signes de tension, M. Hankel a obtenu des cou-
électriques en faisant communiquer le fil d'un galvano-

mètre d'une part avec une lampe, d'autre part avec une lame de platine placée au-dessus de la flamme; le courant était dirigé dans la flamme, du haut en bas. Il faut, dans ce cas, pour que le courant soit un peu fort, que la combustion ait autant de vivacité que possible; c'est pourquoi on doit tenir la lame de platine, non pas horizontalement, mais un peu inclinée au-dessus de la flamme. La présence du métal n'est pas indispensable pour le succès de l'expérience; on peut le remplacer par un conducteur humide, même par la main mouillée. Afin de s'assurer de la part que peut avoir dans l'intensité du courant une variation dans la conductibilité même de la flamme, M. Hankel a introduit dans le circuit le courant d'un petit couple, de manière qu'il fût dirigé dans un sens contraire à celui du courant de la flamme; le premier courant étant constant, il a été facile de s'assurer, d'après les variations dans l'effet observé, que l'intensité du second augmentait bien avec l'étendue et la vivacité de la combustion. Un fait assez extraordinaire observé par M. Hankel, c'est que la flamme d'hydrogène donne des résultats précisément contraires à ceux de la flamme à alcool, soit qu'on étudie son état électrique au moyen du condensateur, soit qu'on le constate au moyen du galvanomètre; ainsi le courant chemine de bas en haut dans la flamme d'hydrogène quand le circuit est fermé, au lieu de cheminer de haut en bas, comme avec la flamme d'alcool.

Becquerel qui déjà, avant les recherches de Pouillet, avait étudié l'état électrique de la flamme d'alcool et de celle d'hydrogène, était arrivé à croire que le phénomène de la combustion n'est pas la seule cause de l'électricité dégagée. Il avait remarqué que les fils ou lames conductrices prennent de l'électricité négative ou positive qu'ils communiquent à la flamme, suivant le degré de température qu'ils acquièrent en étant chauffés par elle; il en avait conclu que la flamme exerce une action électromotrice sur les corps qui entrent en contact avec elle, et que par conséquent les lames ou les fils métalliques qu'on y plonge ne jouent pas simplement le rôle de conducteurs. Les expériences de Hankel ne sont pas de nature à réfuter complétement cette idée, puisque ce physicien est

toujours obligé, pour percevoir l'électricité, de mettre la flamme en contact avec des corps hétérogènes, lors même qu'au lieu de métaux, ce sont des conducteurs humides ou la main.

M. Buff, qui a fait une étude toute particulière de la nature électrique de la flamme, est arrivé à un résultat semblable. Après avoir constaté, par des expériences délicates, que l'air, l'hydrogène, l'acide carbonique et la vapeur d'eau sont très-mauvais conducteurs jusqu'à 400°, il a réussi, en les réchauffant jusqu'à une température plus élevée encore, à les faire traverser par le courant de deux couples de Daniell; il a trouvé de plus que ces corps gazeux, lorsqu'ils sont à une température très-élevée, peuvent développer de l'électricité dans d'autres corps conducteurs, tant solides que gazeux, mis en contact avec eux. Mais il a constamment observé, en plongeant les deux bouts de platine du galvanomètre dans des parties différentes de la flamme, que le courant allait du fil le plus chauffé à celui qui l'était le moins, d'où il a conclu que l'effet provenait d'un courant thermo-électrique.

Cependant, quand il s'est servi du condensateur, Buff a obtenu de l'électricité positive en touchant, avec un fil de platine en communication avec le condensateur, la partie extérieure de la flamme, et de la négative en pénétrant dans la partie intérieure; ce résultat est indépendant de la température des fils, qui donnerait un effet contraire de nature à diminuer l'intensité de celui qui est observé. Les corps des lampes, quand elles sont en métal, soutirent l'électricité négative de la partie intérieure de la flamme si on les met en communication avec le sol, tandis que tout conducteur, tel qu'une lame de métal, du bois humide, ou même la main humectée, soutire l'électricité positive de la partie extérieure. Si avec une lampe à alcool on a un effet inverse de celui qu'on a avec l'hydrogène, comme l'a observé Hankel, cela tient, ainsi que Buff s'en est assuré, à ce que le conducteur métallique est en contact avec la mèche, et par conséquent se trouve humecté d'alcool; alors c'est l'effet thermo-électrique des métaux qui l'emporte, le fil qui est recouvert d'alcool étant nécessairement moins chaud que l'autre. Aussi, dès qu'au lieu de toucher avec la mèche le fil qu'on introduit

dans l'intérieur de la flamme, on l'élève un peu au-dessus, on ne voit plus se produire le fait exceptionnel. Ainsi donc on peut regarder comme établi que toute flamme, celle d'une lampe à alcool aussi bien que celle d'une lampe à huile ou celle de l'hydrogène, répand dans l'air extérieur qui l'entoure, de l'électricité positive dès qu'on conduit dans le sol l'électricité négative de la partie intérieure. Tous ces phénomènes sont, suivant M. Buff, des effets thermo-électriques dans lesquels les gaz et les vapeurs sont aussi bien des corps agissant que les métaux; ils n'ont, par conséquent, aucun rapport avec les phénomènes chimiques de la combustion; aussi ce physicien pose-t-il comme principe, que lorsqu'on forme un circuit thermo-électrique avec de l'air, de l'hydrogène ou de la vapeur d'alcool, du charbon ou du métal, il se développe un courant électrique qui se meut à travers l'air, de la place de contact la plus chaude à la moins chaude.

Les recherches de M. Buff, comme celles de M. Hankel, laissent donc encore indécise la question de savoir si l'électricité qu'on obtient en introduisant des corps solides dans les flammes a une origine purement thermo-électrique, ou si elle dépend, sinon en totalité, du moins en partie, du phénomène de la combustion. M. Grove a cherché à la résoudre de la manière suivante. Il se sert de deux fils de platine de 15 centimètres de longueur et de $\frac{1}{4}$ millimètre de diamètre environ, qui sont roulés l'un et l'autre en hélice à l'une de leurs extrémités, pendant qu'ils communiquent par leur autre extrémité. au moyen d'un fil de cuivre isolé, avec le fil d'un galvanomètre sensible; l'une des petites hélices est placée entièrement dans la partie jaune de la flamme d'une lampe à alcool soumise à l'action du chalumeau, tout près du sommet du cône bleu, et l'autre hélice est disposée près de l'orifice du courant d'air à la base du cône bleu, soit à la racine de la flamme; les deux hélices sont à une distance l'une de l'autre de 5 à 6 centimètres. L'hélice qui est dans la flamme pleine arrive à l'état incandescent rouge-blanc; l'autre qui est à l'origine de la flamme est seulement rouge-cerise. Le galvanomètre indique une déviation de 6°, l'hélice qui est près de l'orifice jouant le

la zinc ou de métal positif dans cette espèce de couple,
pport à l'autre qui joue le rôle de métal négatif.
st facile de s'assurer que l'effet observé n'est point dû à
urant thermo-électrique développé aux points de jonction
s de platine et de cuivre, car il n'est point altéré quand
uffe seulement l'un de ces points de jonction par une
à alcool. D'ailleurs, le léger courant thermo-électrique
peut obtenir ainsi, chemine en sens contraire du courant
il s'agit, ce qu'on peut constater aisément; et de plus le
st thermo-électrique exige, pour être perçu, un galva-
re à fil court, tandis qu'il faut pour l'autre un galvano-
à fil long. Ce n'est pas non plus un courant thermo-
ique dû au réchauffement inégal des deux hélices de
e, car on peut éloigner l'hélice qui est dans la flamme
, de manière qu'elle soit moins chauffée que celle qui est
ase de la flamme, sans changer pour cela le sens du cou-
Si l'on approche l'hélice qui est à la base de la flamme
té de celle qui est vers le sommet, la déviation du gal-
nètre diminue, mais elle conserve sa direction jusqu'à
les fils soient devenus très-voisins, cas dans lequel le
st de la flamme cède le pas au courant thermo-électri-
lont le sens dépend de celle des deux hélices qui est la
hauffée.
fils de zinc, de fer et de cuivre ont été substitués à l'un
de platine; le courant a eu lieu également, mais plus
ent quand les fils oxydables étaient dans la flamme
et les fils de platine à la base de la flamme, que dans le
erse. Cette différence tient probablement à ce que les
ydables étant plus épais, ils produisaient quand ils
dans la flamme pleine un effet de refroidissement qui
t le développement d'un courant thermo-électrique, di-
ns le même sens que le courant propre de la flamme.
eut obtenir un effet bien plus prononcé en unissant
simultanée de ces deux courants. C'est ce que M. Grove
n en formant avec une lame de platine un petit cône
n plus d'un centimètre de profondeur et d'autant de
, et en remplaçant par ce petit cône suspendu dans un

anneau de platine l'hélice placée dans la flamme pleine; l'autre hélice étant toujours à la base de la flamme. Le petit cône devait être rempli d'eau, et l'on y renouvelait cette eau en la versant goutte à goutte au moyen d'une pipette. M. Grove a réussi à obtenir ainsi une déviation du galvanomètre de 20° et même de 30°, dont le sens était le même que celui de la déviation qui avait eu lieu dans ses premières expériences. Quand le cône rempli d'eau était placé à la base de la flamme et l'hélice en haut, la déviation n'était plus que de 5°.

M. Grove conclut de ses recherches qu'il existe dans la flamme un vrai courant voltaïque qui est complétement indépendant de la thermo-électricité, ce qui le conduit à regarder ce courant comme résultant de la production de l'électricité qui a lieu dans le phénomène de la combustion, ainsi que le prouve l'expérience par laquelle M. Pouillet charge un condensateur d'électricité négative en faisant brûler un morceau de charbon sur sa surface. Dans les expériences qui précèdent, le platine, qui est à la base de la flamme, là où l'action chimique commence, joue le rôle du zinc du couple, et le platine qui est au haut, là où la combustion et par conséquent l'action chimique est terminée, le rôle du métal négatif ou conducteur.

Ce qui fait que ce courant propre, dû à la combustion, a pu être observé par M. Grove d'une manière bien distincte du courant thermo-électrique, c'est que l'emploi du chalumeau, en donnant à la flamme une direction bien déterminée, y sépare nettement les portions où la combustion s'opère de celles où elle est opérée, tandis que dans les flammes ordinaires ces portions sont mêlées, et circulent d'une manière confuse les unes parmi les autres.

M. Becquerel, malgré les expériences de M. Grove, a persisté à ne pas voir comme Buff, dans les courants électriques dégagés dans la flamme, autre chose que des effets thermo-électriques. Il remarque que, si on plonge l'un des bouts du platine dans l'alcool de la lampe maintenu à 0° par de la glace fondante, et que l'on fixe à l'autre extrémité du galvanomètre un cylindre de platine rempli aussi de glace, on n'a de courant, en plaçant ce cylindre dans l'intérieur de la flamme,

orsque la glace qu'il renferme étant fondue, le cylindre se réchauffer, preuve que le courant est thermo-élec-. Cela est vrai dans ce cas, mais il n'en résulte point se puisse exister un courant électro-chimique, quand au e mettre la lame ou le fil de platine dans l'alcool on le dans la flamme à sa base même, condition nécessaire pour e courant puisse s'établir, comme allons le voir. M. Becquerel place e symétriquement les deux spirales tine S et S' dans la même section ho-ale de la flamme F d'une lampe à al-(fig. 321), de manière à atteindre la rature rouge, et dans ce cas il n'y a e courant; mais si au moyen d'une seconde lampe et du meau, on chauffe l'une des spirales jusqu'au rouge blanc, produit un courant qui va de la spirale rouge cerise à irale rouge blanc. Le courant a donc une direction in-de celle qu'il possède, quand l'une des spirales est dans ol à la température ordinaire, tandis que l'autre est la flamme avec une température qui ne dépasse pas l'in-scence; ce qui prouverait que les propriétés thermo-iques du platine changeraient à des températures élevées. autre manière de constater le même résultat consiste à

Fig. 321.

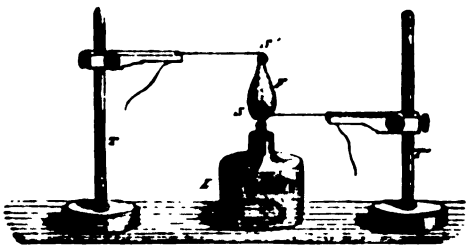


Fig. 322.

les deux spirales, tenues au moyen de deux supports ermettent de les faire monter et descendre (fig. 322), à l'extrémité S' visible de la flamme F, l'autre à sa base S a partie bleue, et à une distance de trois décimètres de la

première. Il se produit un courant qui va de bas en haut dans la flamme; en élevant successivement la spirale inférieure jusqu'à quelques millimètres de distance de la supérieure, le courant augmente d'intensité, et cette augmentation est encore plus considérable si l'on chauffe avec une seconde lampe et un chalumeau la spirale supérieure. Le fait qu'il n'y a aucun courant quand les deux spirales étant placées dans l'enveloppe extérieure de la flamme, elles sont à la même température, et qu'il suffit d'en chauffer fortement une sans les changer de place pour qu'il y ait courant, conduit M. Becquerel à conclure que le courant est thermo-électrique, et qu'il doit en être de même de celui qu'on obtient avec les deux spirales inégalement chauffées, placées l'une au sommet, l'autre à la base de la flamme; d'autant plus qu'on augmente l'état positif de celle qui est au sommet en la chauffant davantage. Mais dans sa manière d'opérer le réchauffement, M. Becquerel apporte une grande modification à l'expérience en introduisant l'action d'une seconde flamme qui peut jouer un autre rôle que celui de réchauffer simplement la spirale.

Nous croyons donc que, malgré les expériences ingénieuses de M. Becquerel, nous devons admettre avec M. Grove qu'il y a deux courants dans la flamme, l'un thermo-électrique, l'autre dû à une action chimique. Quant à ce dernier, M. Matteucci nous paraît en avoir trouvé la véritable cause[1]. Lorsqu'il s'agit d'une flamme d'alcool ou d'hydrogène, ce qui revient au même, voici ce qui se passe. L'une des lames est en contact avec l'oxygène de l'air ambiant, l'autre avec l'hydrogène; ces deux lames

[1] M. Matteucci, dans ses recherches sur l'électricité de la flamme, commence par déterminer la conductibilité électrique de différentes flammes, en s'en servant pour transmettre au moyen de deux fils de platine le courant de deux couples de Daniell. Lorsque les fils ne sont plus qu'à deux ou trois millimètres de distance dans la flamme d'une lampe à double courant d'air, il s'aperçoit que la flamme commence à devenir conductrice, probablement par une cause semblable à celle qui fait que le courant est transmis à travers des gaz élevés à une haute température dans les expériences de M. E. Becquerel (p. 103). Les flammes de cire et d'acide stéarique sont sensiblement plus conductrices que celles d'alcool, si on a soin d'empêcher la formation sur les fils de platine d'une couche de matière noire qui empêche la transmission du courant.

séparées par une couche de vapeur aqueuse formée par la
bustion ; on a donc ainsi une véritable pile à gaz comme
de Grove, avec cette différence que l'électrolyte est ici
peur d'eau. Le sens du courant est parfaitement d'accord
cette explication, et on voit pourquoi M. Becquerel n'obtient
l'effet en mettant l'une de ses spirales dans l'alcool ou en
ettant toutes les deux en contact avec la partie extérieure
a flamme et par conséquent avec l'oxygène. Quand il en
uffe une avec le dard du chalumeau, il est évident qu'il
et en contact non plus avec l'air et par conséquent avec
gène, mais bien avec l'hydrogène ou la vapeur d'alcool
nouvelle flamme ; il doit donc la rendre positive, comme
a lieu effectivement. A l'appui de son explication, M. Mat-
i cite un grand nombre d'expériences, d'abord celles par
elles il a constaté, au moyen d'une spirale en platine qu'il
ommuniquer avec le condensateur, qu'on n'obtient aucun
électrique en dirigeant sur elle différentes parties d'une
ne d'hydrogène bien isolée ; tandis que si en la tenant tou-
plongée dans la flamme de l'hydrogène, on en place une
lable en communication avec le sol à 3 ou 4 centimètres
ssus, on trouve à l'électroscope des signes marqués et
ants d'électricité négative analogues à ceux que donnerait
ame en contact avec l'hydrogène dans un couple à gaz de
, dont l'autre lame serait en contact avec de l'oxygène et
uniquerait avec le sol. En faisant communiquer la seconde
le avec le condensateur et la première avec le sol, on obtient
ignes prononcés d'électricité positive. Si l'on se sert de
les de platine noircies, soit platinées, les effets sont les
es, mais seulement plus forts. En remplaçant les lames
latine par des métaux oxydables, on a des signes élec-
es moins nets et les phénomènes deviennent complexes,
e qu'une partie de l'électricité dégagée doit provenir de la
mposition de la vapeur d'eau par ces métaux chauffés au
e. A l'appui de l'analogie qu'il établit entre le phénomène
électricité de la flamme et celui de l'électricité produite dans
couple à gaz, M. Matteucci cite une expérience, dans la-
le il a obtenu des signes très-forts de tension électrique

en plaçant deux lames de platine platinées, l'une dans de l'hydrogène, l'autre dans de l'oxygène, les deux gaz étant renfermés dans deux cloches renversées sur la même cuve qui était elle-même remplie d'eau pure ou légèrement acidulée, dans laquelle les deux lames plongeaient en partie.

Pour prouver l'existence des polarités secondaires dans les fils de platine qui plongent dans différentes parties de la flamme, M. Matteucci dispose deux fils de platine de façon qu'ils puissent être en contact, l'un avec l'intérieur de la flamme d'une lampe à alcool et l'autre avec sa surface ou avec sa pointe; la déviation du galvanomètre indique que le courant va dans la flamme de la base à la pointe. On éteint la flamme, on laisse refroidir les fils, puis on ferme le circuit avec de l'eau; on a un courant très-fort dirigé dans le même sens que celui qu'on obtenait avant que l'eau eût remplacé la flamme. Ces deux courants sont donc dus évidemment à la même cause, et si le premier est plus faible, cela tient à l'imparfaite conductibilité de la flamme, ou plutôt de la vapeur d'eau, qui éprouve la décomposition électrolytique de la part de l'hydrogène et de l'oxygène adhérents respectivement aux deux lames de platine, entre lesquelles cette vapeur est interposée.

M. Grove, tout en admettant les idées de M. Matteucci sur l'origine du courant électro-chimique de la flamme, ne croit pas que ce soit l'eau à l'état de vapeur qui joue le rôle de l'électrolyte, mais bien la flamme elle-même qui formerait une chaîne électro-chimique dans laquelle chaque particule de charbon ou d'hydrogène se combinerait avec la particule voisine d'oxygène et ainsi de suite, en déterminant une série de combinaisons et de décompositions avec excès d'oxygène à l'une des extrémités de la flamme, et excès d'hydrogène carboné à l'autre. Cependant rien ne prouve que la vapeur d'eau à une haute température ne puisse pas éprouver une décomposition électrolytique; les phénomènes de la polarité électro-chimique des gaz découverts par M. Grove lui-même, que nous avons décrits plus hauts [1] sont tout à fait favorables à cette supposition que

[1] Tome II, pages 402 et suiv.

ment, comme nous le verrons plus loin, d'autres faits
fs au rôle que joue la vapeur d'eau dans la production des
omènes électriques attribués au contact, et dans sa pro-
conductrice pour l'électricité.

Matteucci explique d'une manière analogue l'origine de
tricité qui est dégagée dans la combustion du charbon ;
narque avec raison que la forme et la position du charbon
ndifférentes au succès de l'expérience, ce que M. Gaugain
firmé[1] ; mais il ajoute, ce qui est également exact, que
que l'expérience réussisse, il faut que l'air soit humide ;
us, il y a toujours dans le charbon ordinaire de l'hydro-
qui brûle avec le charbon même, et par conséquent for-
n d'eau. Cette eau est décomposée par le charbon incan-
nt comme elle le serait par un creuset de fer chauffé dans
l on la projetterait, et elle doit, par sa décomposition,
e le charbon négatif pendant que l'hydrogène et l'acide
nique emportent l'électricité positive. Le point sur le-
nsiste le savant italien en faveur de sa théorie est qu'il
possible de trouver des signes d'électricité dans la com-
n du charbon pur dans le gaz oxygène sec, non plus que
celle des métaux, tels que le fer et le zinc ; d'où il con-
que, pour qu'il y ait développement d'électricité, il faut
omposition d'un électrolyte, et que la simple combinai-
es deux éléments ne suffit pas. Nous examinerons plus loin
à quel point cette opinion est fondée.

ant de terminer ce paragraphe, nous dirons quelques
d'une classe particulière de courants que M. Becquerel
ignés sous le nom de *pyro-électriques*, et qui sont aussi,
ne ceux de la flamme, dus à l'action combinée de la cha-
poussée à un haut degré et de l'affinité chimique. Ces

1. Gaugain trouve qu'on réussit très-bien à charger un condensateur d'é-
ité négative au moyen de la combustion du charbon, en ayant soin de
r un morceau de charbon bon conducteur, puis de l'allumer, et après l'avoir
n communication avec le plateau du condensateur, de placer à 2 ou 3 mil-
es de la surface enflammée, une spirale de platine ou tout autre conduc-
u'on fait communiquer avec le sol. Il faut en commençant attiser pendant
e temps la combustion avec un soufflet.

courants sont produits toutes les fois que des substances métalliques sont en contact avec des substances vitreuses à l'état de fusion ignée, ou tout au moins ramollies par la chaleur. Si on introduit dans un fourneau rempli de charbons allumés une tige de fer doux et une de cuivre, en relation chacune avec l'une des extrémités d'un galvanomètre, on n'a pas de courant, tandis qu'on en obtient un si la tige de cuivre est enveloppée d'un tube de verre, pourvu qu'on pousse la température jusqu'au point de fusion de ce verre. Le courant augmente d'intensité à mesure qu'on chauffe à partir du point où le verre se ramollit; puis, lorsqu'on est parvenu au point de fusion, le courant a atteint son maximum et demeure constant. Le courant va du fer au cuivre à travers le charbon et le verre; le fer s'oxyde et le cuivre reste intact, comme cela aurait lieu dans un couple hydro-électrique.

Le dégagement de l'électricité a donc une origine purement chimique, provoquée seulement par la chaleur; car si lorsque le verre qui entoure le cuivre étant fondu partiellement, il arrive que ce métal touche le fer, il n'y a plus d'effet, contrairement à ce qui devrait arriver si le courant était thermo-électrique. On obtient un effet semblable en remplaçant le fer par un morceau de charbon de cornue taillé en cylindre, qui éprouve une véritable combustion.

Pour avoir des effets plus prononcés et plus durables, M. Becquerel place dans un creuset de terre une lame de cuivre qu'il recouvre de verre pilé dans lequel il fait pénétrer une tige de fer; puis il place le creuset dans un fourneau à réverbère. Il réussit également bien à se procurer un courant fort et constant en introduisant deux longues tiges, l'une de fer, l'autre de cuivre, dans un creuset rempli de verre pilé auquel il ajoute 0,25 de carbonate de soude pour faciliter la fusion. Quoique d'autres substances vitreuses puissent jouer le même rôle que le verre, celui-ci a paru préférable dans tous les essais qu'on a faits.

M. Buff, de son côté, à la suite d'expériences sur la conductibilité du verre chauffé, est parvenu à construire une pile dans laquelle le liquide électrolytique est remplacé par le

re. Il a placé les uns au-dessus des autres, et dans le même ire, des disques de laiton doré, des disques de zinc découpé des plaques minces de verre; puis il a attaché des fils de tine au premier disque et à celui qui recouvrait la dixième que de verre : la pile ainsi formée avait 4 centimètres de uteur. Les plaques furent pressées les unes contre les autres, manière à pouvoir être soumises au courant d'air chaud me lampe d'Argand. Cette pile, au bout de peu de temps, avait produire une divergence de 10 millimètres à l'électroscope à feuilles d'or. Quand les disques étaient chauffés, un ntact de quelques secondes produisait une divergence de millimètres au moins. Une pile semblable, et qu'on a sout employée, n'avait rien perdu de sa force électromotrice nitive au bout de cinq mois.

. Application des principes qui précèdent à la construction et à la théorie des différentes piles voltaïques.

ious avons établi d'une manière générale la théorie de la : voltaïque dans le § 1; mais nous ne pouvions pas, avant voir achevé l'étude du dégagement de l'électricité dans formes diverses que revêt l'action chimique, apprécier ites les causes qui peuvent influer sur la puissance de cet pareil, ni indiquer les modifications par lesquelles on peut ngmenter. Maintenant que cette étude est complète, il nous . facile de faire l'analyse détaillée de tout ce qui se passe dans ı circuit dont la pile fait partie, et de trouver les moyens de nner à son action toute l'énergie dont elle est susceptible. Un circuit voltaïque fermé peut être envisagé, ainsi que nous vons déjà remarqué, comme un système de conducteurs dans quels l'électricité se propage par une suite de décompositions de recompositions des électricités de leurs molécules consé-ives. Ces décompositions et recompositions des électricités t accompagnées dans les liquides électrolytiques qui servent à rger les couples de la pile, et dans ceux qui se trouvent dans voltamètres quand il y en a dans le circuit, de la décomposi-n et de la recomposition des molécules elles-mêmes. L'action

est la même, ou équivalente dans chaque couple et dans le voltamètre, ainsi que le prouve l'expérience, et la seule différence c'est que le couple renferme un ou deux corps qui, en vertu de leur affinité chimique pour les éléments du liquide dont il est chargé. déterminent la formation de la chaîne polaire, laquelle ne continue dans le voltamètre que parce que la polarité y est transmise par l'intermédiaire des électrodes et des conducteurs métalliques au moyen desquels ils communiquent avec les couples. On peut donc considérer les voltamètres comme des couples inactifs introduits dans le circuit, et on doit remarquer que leur introduction affaiblit le courant, non-seulement parce qu'elle occasionne une résistance de plus comme le ferait l'introduction de tout autre conducteur additionnel, mais parce qu'elle crée une force électromotrice contraire à celle du couple ou de la pile voltaïque elle-même. En effet, dès qu'un voltamètre ou couple inactif est interposé dans le circuit, la décomposition du liquide dont il est chargé détermine une polarité secondaire sur les surfaces de chacun de ses électrodes; polarités dont l'effet est de produire un courant dirigé en sens contraire de celui qui les a déterminées. C'est donc une force électromotrice créée par l'action même du courant qui doit être retranchée de la force électromotrice du couple ou de la pile, quand on veut reconnaître la force électromotrice réelle du courant qui parcourt le circuit.

Mais ce n'est pas seulement dans les voltamètres que se développe cette force électromotrice contraire; elle se produit aussi dans les couples eux-mêmes, quand le circuit est fermé depuis quelques moments. En effet, dans chaque couple il y a un métal actif, le zinc ordinairement, et un métal inactif, platine ou cuivre; pendant que le circuit est fermé, le zinc s'oxyde, puis se dissout à l'état de sulfate, en supposant que le liquide excitant soit une dissolution d'acide sulfurique, du moins tant que le liquide est encore acide et n'est pas saturé de sulfate; mais le platine ou le cuivre se recouvrent soit d'hydrogène, soit de zinc ou d'oxyde de zinc provenant de la décomposition d'abord de l'eau acidulée, ensuite du sulfate dissous. Or ces dépôts impriment au métal sur lequel ils ont lieu une polarité secondaire dont l'effet est

faire naître un courant dirigé dans un sens contraire à celui courant que doit produire l'action du zinc sur le liquide, et conséquent de diminuer notablement cette dernière. Comme polarités secondaires sont produites également sur le métal ctif de chaque couple, elles s'ajoutent les unes aux autres ame s'ajoutent les actions électromotrices des zincs, et celles-euvent dans certains cas être assez amoindries pour finir devenir nulles. La pile alors n'exerce plus d'action; c'est ce arrive aux piles qui ont été pendant quelque temps en acti-, ainsi que l'ont reconnu tous les expérimentateurs, parmi quels nous citerons M. Marianini, qui a fait une série d'expé-nces sur l'affaiblissement qu'éprouvent les piles voltaïques dant que leur circuit est fermé durant un temps plus ou ins long, et sur le temps pendant lequel il faut laisser leur uit ouvert pour qu'elles recouvrent tout ou partie de la force elles ont perdue. En général, c'est dans les premiers moments le circuit vient d'être fermé ou ouvert, que la diminution ou gmentation de la puissance sont les plus prononcées; puis arrive un moment où la puissance de la pile ne diminue n'augmente plus. Un fait assez important et qui aurait mettre M. Marianini sur la voie de la cause des phénomènes il avait observés, c'est que l'affaiblissement n'a lieu dans pile qu'autant que son circuit est fermé, et qu'il suffit même ses pôles ne soient pas bien isolés pour qu'il se manifeste. varie avec la nature des couples et principalement avec celle métal inactif. M. Marianini a remarqué qu'il avait lieu alement avec des piles sèches dont on réunissait les pôles moyen d'une bande de plomb. Deux piles de Zamboni de 00 couples chacune, ayant eu leurs pôles ainsi réunis, on vit à au bout d'une minute leur tension mesurée à la divergence feuilles de l'électroscope, descendre de 14° à 6° et au bout 20 minutes à 2°. Le circuit ayant été rouvert au bout de minutes, la tension était revenue à 14°. Des contacts répétés approchés produisent le même effet qu'une communication tinue. Enfin, il est facile de rendre à une pile la force qu'elle erdue en la faisant traverser par le courant d'une autre , mais dirigé en sens contraire du sien. Tous ces effets sont

une conséquence naturelle de la polarisation qu'occasionnent sur les plaques inactives des couples, les dépôts provenant de la décomposition électrolytique de leur liquide; dépôts qui disparaissent, du moins en partie, par l'action dissolvante du liquide quand le circuit est ouvert, et qui sont détruits encore mieux par la formation de dépôts de nature contraire, que détermine un courant inverse transmis à travers la pile. Il est facile de s'assurer de l'exactitude de cette explication, en examinant de près ces plaques et en s'en servant pour former des couples avec des plaques semblables, mais qui n'ont pas servi; elles jouent toutes le rôle de métal positif par rapport à ces dernières.

L'effet que détermine sur le courant d'une pile l'interposition entre ses couples de diaphragmes métalliques, soit couples inactifs, tient à la même cause que celle qui résulte de la polarisation des métaux inactifs ou des lames d'un voltamètre; un voltamètre, comme nous l'avons dit, n'étant lui-même qu'un couple inactif interposé entre les deux métaux d'un couple actif. Aussi l'influence de la nature des substances dont sont faits les couples inactifs s'explique-t-elle très-bien, la diminution que leur interposition fait éprouver au courant étant en rapport avec la facilité qu'ils ont à conserver les dépôts qui se forment à leur surface; ainsi ceux sur lesquels le liquide exerce une action chimique n'arrêtent presque pas le courant, parce que les dépôts se dissolvent à mesure qu'ils se forment. Au reste, nous avons déjà démontré que c'était là la véritable cause de la résistance au passage, par les expériences, au moyen desquelles nous avons prouvé que cette résistance s'affaiblit et devient même nulle quand on fait usage de courants alternatifs et se succédant très-rapidement, avec lesquels la formation des dépôts est impossible [1].

L'une des causes qui contribuent le plus à diminuer la polarité secondaire des plaques inactives des couples dont se compose une pile en activité, c'est la présence de l'oxygène. Déjà, en 1801, Pepys, et plus tard Biot et Cuvier, avaient montré, en plaçant une pile à colonne surmontée d'une cloche, qu'il y avait absorption d'oxygène si les pôles de la pile étaient réunis, et

[1] Tome II, pages 342 et suiv.

s le vide ou dans l'azote le courant de cette pile était
nt affaibli. On avait attribué cette influence de l'oxygène
e sa présence facilite l'oxydation du métal attaquable
ole; mais dernièrement, M. Adie et après lui M. Viard
ontré par des expériences exactes et nombreuses que
r son action sur la plaque négative ou inactive du
que l'oxygène exerce son influence. Ainsi quand deux
du même métal sont mises l'une dans de l'eau bouillie,
ans de l'eau qui renferme de l'oxygène en dissolution,
liquides étant séparés par une cloison poreuse, c'est
la seconde plaque qui est négative par rapport à la
e. Ce résultat, d'accord avec ceux que nous avons vu
obtenus déjà par Matteucci et par Grove, s'explique de
manière que l'établissement du courant dans la pile à
olarisation des molécules successives du liquide et leur
osition et recomposition étant facilitées par la présence
gène sur l'une des lames, qui détermine le sens de la
tion et par conséquent celui du courant. Mais l'in-
le l'oxygène est bien plus marquée quand les couples
més de deux métaux différents; c'est ce que M. Viard a
avec diverses combinaisons voltaïques, telles que *zinc*
tine, *argent*, *cuivre* et *fer*: *fer* avec *platine*, *argent* et
cuivre avec *platine* et *argent*, et enfin *argent* avec *pla-*
férents liquides ont été employés pour électrolytes, en
oin dans chaque cas de les placer dans deux compartiments
lont l'un renfermait le liquide privé autant que pos-
oxygène, tandis que l'autre contenait le même liquide
c l'oxygène. Les expériences ont été faites de la même
que lorsque les lames étaient homogènes, savoir, en
nt l'une des lames dans le liquide privé d'air et l'autre
liquide aéré; c'était toujours la présence de l'oxygène
ame négative qui augmentait la force du courant, aug-
on due évidemment à l'absence de polarité secondaire
tte lame, à cause de l'absorption opérée par l'oxygène
drogène naissant à mesure qu'il était dégagé à sa sur-
le courant.

mesurer et comparer l'absorption de l'oxygène qui a

lieu dans les couples de nature différente, M. Viard a combiné son appareil de manière que l'électrolyte pût être à l'abri du contact de l'air; puis, plaçant au-dessus de chacun des éléments du couple une petite cloche graduée remplie d'oxygène, il a pu déterminer les absorptions, soit dans le cas où le circuit était fermé, soit dans celui où il restait ouvert. Les couples successivement soumis à l'expérience étaient des couples *zinc-platine*, *zinc-argent*, *zinc-cuivre* et *zinc-fer;* les électrolytes étaient successivement, avec chaque couple, de l'eau pure, des dissolutions de sulfate de potasse et de chlorure de sodium; les expériences duraient de vingt à vingt-cinq jours avec l'eau pure, et seize heures seulement avec les autres liquides. Voici le résultat de l'absorption mesurée par l'élévation du liquide dans le tube rempli d'oxygène pour deux des couples choisis aux deux extrémités de l'échelle :

	ZINC-PLATINE.		ZINC-FER.	
Électrolyte.	Circuit fermé.	Circuit ouvert.	Circuit fermé.	Circuit ouvert
Eau.	18,0	3,0	14,0	12,0
Sulfate de potasse. . .	33,5	0,5	16,0	8,0
Chlorure de sodium. .	29,0	0,5	14,0	7,5

On voit que la différence entre l'absorption, quand le circuit est fermé, et l'absorption quand il est ouvert, est plus grande avec les dissolutions salines qu'avec l'eau pure ; elle est d'autant plus considérable, ainsi que l'absorption elle-même, que la lame négative est moins oxydable. L'absorption n'a pas lieu seulement à la lame négative, mais elle a également lieu à la positive, avec cette différence qu'elle y reste sensiblement la même, que le circuit des couples soit ouvert ou fermé. L'absorption à la lame négative doit dépendre de l'intensité du courant; aussi varie-t-elle avec la nature du couple et avec celle de l'électrolyte. Avec un couple zinc-fer, chargé d'eau pure, et qui, par conséquent, est très-faible, l'ouverture du circuit n'a aucune influence sur l'absorption, celle-ci ayant lieu presque exclusivement sur la lame positive, tandis qu'avec un couple zinc-platine, chargé avec une dissolution de sulfate de potasse, et dont le courant est très-fort, ce qui permet une expé-

rience très-courte, l'absorption est considérable quand le circuit est fermé, et presque nulle quand il est ouvert, vu qu'alors elle n'a lieu que sur la lame positive.

Il résulte donc de tout ce qui précède, que la cause du prompt et grand affaiblissement qu'éprouvent les piles voltaïques, quand leur circuit a été fermé pendant quelques moments, n'est pas tant la diminution dans la faculté excitante du liquide dont elle est chargée, c'est-à-dire dans l'énergie de l'action chimique exercée sur le métal oxydable, que la création d'une polarité contraire sur le métal négatif ou inactif par l'effet de dépôts provenant de la décomposition électrolytique du liquide, principalement de l'hydrogène.

Voyons maintenant comment, en partant de ces principes, nous pourrons donner une explication satisfaisante des propriétés qui caractérisent chaque espèce de pile, et plus particulièrement les piles à courant constant. Nous ne reviendrons pas sur les détails de construction des diverses piles voltaïques, détails que nous avons exposés dans le chapitre second de notre première partie; nous les regarderons comme connus dans l'analyse que nous allons faire des circonstances qui influent sur le pouvoir de ces appareils.

Les premières piles à colonnes [1], ainsi que celles à auge de bois, à couronne de tasse, à auge de terre de pipe ou de cuivre [2], sont, comme on se le rappelle, composées de couples zinc-cuivre chargés avec un seul liquide, savoir, une dissolution acide ou saline. Toutes présentent l'inconvénient de s'affaiblir très-promptement quand leur circuit est fermé, par l'effet de la polarisation de leurs plaques négatives. On atténue cet inconvénient, soit en prenant pour liquide excitant une dissolution d'acide sulfurique dans laquelle on mélange un peu d'acide nitrique, soit en donnant aux lames négatives une surface beaucoup plus grande qu'aux positives. Ces deux modifications, apportées aux premiers modes usités pour charger et construire la pile, avaient été introduites em-

[1] Tome I, page 28, figure 17.

[2] Tome I, page 34 (fig. 25); page 35 (fig. 26); page 36 (fig. 27); page 37 (fig. 28 et 29); et page 38 (fig. 30 et 31).

piriquement, l'expérience en ayant fait reconnaître les avantages; maintenant, il est facile d'en comprendre l'utilité, en remarquant que la présence de l'acide nitrique dans le liquide excitant, facilite la dissolution partielle du dépôt sur la plaque négative, et que l'étendue donnée à cette plaque diminue sur chaque partie de sa surface la quantité de ce dépôt.

A ces perfectionnements, Faraday en avait ajouté quelques autres; il avait, comme le docteur Hare l'avait indiqué le premier[1] dans son calorimoteur, rapproché le zinc et le métal négatif (cuivre ou platine), autant que possible l'un de l'autre, en se contentant de séparer les deux métaux pour éviter tout contact entre eux par une feuille de papier. Du reste, comme dans la pile de Wollaston[2], le cuivre fait le tour du zinc, et un morceau de bois ou de liége empêche la partie inférieure du cuivre de toucher l'arête inférieure de la plaque de zinc. Non-seulement les zincs sont très-rapprochés des cuivres dans chaque couple, mais les couples eux-mêmes sont aussi très-voisins, et leurs cuivres sont également préservés du contact métallique par plusieurs feuilles de papier. Mais la plus grande modification apportée par Faraday est de plonger toute la pile dans le même liquide, et non pas chaque couple dans une auge séparée. Sans doute l'effet est un peu affaibli parce qu'une partie des électricités se recompose à travers le liquide, qui baigne également tous les couples; mais cette recomposition est très-faible par rapport à celle qui se fait à travers le conducteur qui réunit les deux pôles de la pile, pourvu que le liquide excitant ne soit pas une dissolution trop acide et par conséquent trop conductrice. L'expérience a montré qu'il n'y avait pas une différence bien sensible, en ce qui concerne surtout l'incandescence des fils métalliques, qui exige l'emploi de bons conducteurs, entre deux piles de 40 couples exactement semblables, sauf que dans l'une le liquide excitant était dans des auges séparées pour chaque couple, et que dans l'autre il était dans une auge unique. Du reste, l'emploi de cette pile est fort commode, vu que rien n'est plus facile que d'immerger et

[1] Tome I, page 38, figure 30.
[2] Tome I, page 37, figure 28.

merger promptement les couples métalliques, ce qui fait
on ne consomme que peu de zinc, et que de plus la pile
cupe que très-peu de place à cause de la proximité des
ques dont elle est formée. Comme les plaques de zinc sont
-minces, on peut les faire en zinc laminé, qui est très-
rieur au zinc fondu. MM. Young et Munch ont modifié la
de Faraday en remplaçant le zinc ordinaire par le zinc
lgamé, et en la disposant de façon que chaque zinc se trouve
ours entre deux surfaces du même cuivre; le tout com-
de manière à occuper le moins de place possible, de telle
e que dans la pile de Munch 50 couples occupent à peine
timètres de longueur.
a pile de Smee est encore, comme celle de Faraday, une
dans laquelle il n'y a qu'un liquide interposé entre les mé-
des couples, mais le zinc y est amalgamé, ce qui évite
e action locale, et l'élément négatif y est recouvert d'une
he de platine très-divisé, comme le sont les lames de pla-
platinées de la pile à gaz de Grove. Cette dernière circon-
ce facilite singulièrement le dégagement de l'hydrogène,
r conséquent le développement de la force électromotrice
ouple, en diminuant ou annulant presque complétement
olarité secondaire du métal négatif. Ainsi, une même
e de zinc amalgamé mise successivement en contact
l'acide étendu avec du platine platiné et du platine poli,
chauffé pour chasser l'air de sa surface, dégage dans une
te sur le premier cinq fois plus de gaz hydrogène que
le second. Tous les autres effets du courant sont accrus
la même proportion. M. Smee place dans sa pile la lame
ée entre les deux faces verticales d'une lame de zinc amal-
comme dans la pile à acide nitrique de Grove; mais
ne il n'y a ni deux liquides, ni auge poreuse, il rapproche
coup les deux faces de zinc en donnant à ses couples
me de ceux de la pile de Wollaston [1]. La lame de pla-
platiné peut, sans inconvénient, n'avoir que les 2/3 de la
ur des faces de la lame de zinc.

[1] ome I, page 37, figure 28.

La pile de Smee se charge ordinairement avec une dissolution de 1 partie d'acide sulfurique pour 7 d'eau. Son effet est beaucoup plus constant qu'on n'aurait pu s'y attendre d'une pile à un seul liquide, et avec un nombre égal de couples à surfaces égales, elle a un effet très-supérieur à celle de Daniell à sulfate de cuivre. Smee, par motif d'économie, emploie dans sa pile au lieu de platine de l'argent platiné ; mais l'argent se prête mal, à cause de son poli, à l'opération du platinage. C'est pourquoi M. Boquillon a imaginé de se servir d'une lame de cuivre sur laquelle il dépose d'abord une couche de cuivre de manière qu'il soit rugueux et couvert d'aspérités, puis il recouvre cette première couche d'une couche d'argent qui participe au même état superficiel, et c'est sur cette couche d'argent qu'il dépose enfin le platine pulvérulent, qui en y adhérant donne à la lame au plus haut degré la propriété de dégager librement l'hydrogène.

M. Poggendorff a réussi également à donner aux couples formés d'une plaque de zinc amalgamé et d'une plaque de cuivre plongées dans de l'acide sulfurique étendu, une constance et une force remarquables en recouvrant la plaque de cuivre d'une couche pulvérulente de cuivre, semblable à celle de platine dont Smee recouvre ses lames négatives.

Mais la plus sûre manière d'éviter toute polarité sur la lame négative est de la plonger dans un liquide qui absorbe l'hydrogène au moment et à mesure qu'il s'y dégage [1], et qui empêche également un dépôt sur cette lame, de zinc ou d'oxyde de zinc, provenant de la décomposition électrolytique du sel qui est formé dans l'action sur le zinc amalgamé du liquide qui l'attaque. Daniell a eu le premier l'idée de ce perfectionnement en faisant l'application à la construction des couples d'une pile voltaïque, des effets électro-chimiques qui ont lieu dans deux liquides séparés par une membrane poreuse, et que M. Becquerel avait déjà trouvés et décrits. Ce physicien avait en effet déjà observé soit dans sa pile à gaz oxygène, soit dans un couple formé

[1] Un autre avantage de l'absorption de l'hydrogène est d'éviter l'obstacle mécanique que l'apparition des bulles de gaz oppose à la libre circulation du courant.

de deux lames, l'une de zinc, l'autre de cuivre, plongées dans deux compartiments distincts remplis de divers liquides excitants et séparés par un diaphragme de baudruche, qu'on peut obtenir des courants beaucoup plus constants que lorsqu'on emploie un seul liquide. Ainsi il avait obtenu un courant assez fort et passablement constant en mettant dans la case où était le cuivre, du nitrate de cuivre, et dans celle où était le zinc, du sulfate de zinc; avec de l'acide sulfurique très-étendu d'eau dans les deux cases également et quelques gouttes d'acide nitrique dans la case cuivre, il avait réussi à produire un effet assez constant tenant à l'action de l'acide nitrique, comme nous l'avons déjà fait remarquer en parlant de l'avantage qu'on avait reconnu à charger les anciennes piles avec une dissolution d'acide sulfurique renfermant un peu d'acide nitrique.

Daniell a donc imaginé de construire un couple et par conséquent une pile dans laquelle, tout en laissant le zinc dans une dissolution d'acide sulfurique ou de sel ordinaire, il plonge le cuivre dans une dissolution concentrée de sulfate de cuivre; les deux liquides sont séparés par un diaphragme poreux, fait d'une substance organique, telle que de la vessie, de la baudruche, de la toile serrée ou du bois, ou simplement formé avec de la terre dégourdie et non vernie. Nous avons déjà donné la description de cette pile[1]. Nous nous bornerons donc à reproduire ici (fig. 324) un couple à sulfate de cuivre, tel que Daniell le construisit dans l'origine. A B est un cylindre de cuivre qui sert en même temps de vase et de métal négatif; les deux bases de ce cylindre sont percées en E F et en *a b* de deux ouvertures circulaires auxquelles est fortement attaché par ses deux extrémités un tube en membrane poreuse qui n'est autre chose qu'un intestin de bœuf convenablement préparé, dans l'intérieur duquel on place un cylindre de zinc amalgamé C *d*. Il part

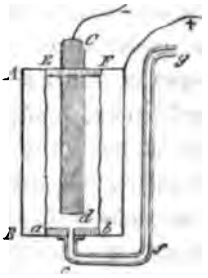


Fig. 323.

[1] Tome I, page 40.

de l'ouverture inférieure au centre de *a b*, un tube en syphon *e f g* destiné à donner écoulement au liquide contenu dans le cylindre membraneux quand on en ajoute du nouveau. Il faut avoir soin de maintenir au-dessus de la dissolution de sulfate de cuivre, pour qu'elle reste toujours aussi concentrée que possible, des cristaux de ce sel. Malgré quelques avantages que semblait d'abord présenter ce mode de construction, on préfère assez généralement le système que nous avons décrit dans notre premier volume [1].

La pile de Daniell présente, comme toutes celles où le zinc est amalgamé, l'avantage qu'il n'y a aucune action chimique quand elle ne fonctionne pas; mais ce qui la caractérise essentiellement, c'est que son effet est constant, parce que le cuivre ne se polarise pas. En effet, quand le circuit est fermé, l'hydrogène qui résulte de la décomposition de l'eau acidulée sur la surface du zinc, rencontrant le sulfate de cuivre au delà de la membrane poreuse, se combine avec l'oxygène de la première molécule de ce sulfate, de sorte que c'est le sulfate qui est maintenant décomposé [2], et que c'est son cuivre qui va se déposer en formant une couche mince sur le cuivre du couple; celui-ci n'est donc point altéré ni par conséquent polarisé. Il est vrai que lorsque la solution de sulfate étant un peu épuisée est devenue passablement acide, c'est alors l'eau acidulée qui est décomposée et non plus le sulfate, d'où résulte que de l'hydrogène se dégage sur la surface du cuivre; mais pour peu qu'il reste du sulfate dans la dissolution, ce sulfate est réduit par l'hydrogène naissant, et c'est encore un dépôt de cuivre qu'on obtient; seulement il est granuleux, au lieu d'être uni, brillant et ductile, ce qui diminue déjà un peu la force du courant; puis quand la dissolution est tout à fait épuisée, l'hydrogène se dépose sur le cuivre même, et alors le courant perd sa constance. C'est

[1] Il y a de l'avantage dans la pile de Daniell, où les cuivres et le sulfate de cuivre sont toujours placés extérieurement, à donner aux cylindres de zinc qui plongent dans les tubes poreux remplis d'une dissolution d'acide sulfurique, la forme de cylindres creux au lieu de celle de cylindres pleins, afin qu'ils présentent plus de surface à l'action du liquide.

Voyez tome II, page 326.

oi il est très-important de maintenir autant que possible
olution de sulfate de cuivre à l'état de saturation. L'effet
ns la pile de Daniell est tout entier dans l'action du zinc
iquide excitant qui le baigne; car le cuivre n'exerce pas
1 sensible sur son sulfate, ainsi que le prouve l'expé-
la décomposition de ce sulfate ne peut donc être une
électrique, mais simplement l'effet du courant produit
éunion des deux électricités dégagées sur le zinc; effet
r le dépôt du cuivre qu'il occasionne, produit la con-
de l'appareil[1].

uff a apporté à la pile de Daniell une modification qui
ne une constance remarquable et bien précieuse pour
nerches qui, sans exiger une grande force de courant,
ent que cette force reste aussi constante que possible
t un temps passablement long. Cette modification con-
enouveler constamment le sulfate de cuivre, et en même
faire que le zinc amalgamé ne s'enfonce dans son liquide
esure qu'il s'use, ce qu'on obtient au moyen d'un contre-

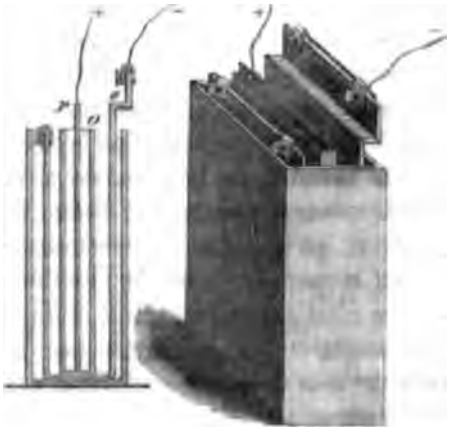


Fig. 324.

hoses ne se passent pas exactement de même avec la pile de
dans laquelle le sulfate de cuivre est remplacé par l'acide

[1] tome I, page 42, figure 323. Dans la figure 34, le zinc et le platine

nitrique, et par conséquent le cuivre par du platine (fig. 324). Outre que l'acide nitrique étant beaucoup plus conducteur que la dissolution de sulfate de cuivre, le courant est plus facilement transmis, il est probable qu'ici la facilité avec laquelle l'acide nitrique abandonne son oxygène, tend à décomposer l'eau acidulée en lui enlevant son hydrogène; il suffit en effet de plonger dans une dissolution d'acide sulfurique deux lames de platine, après avoir eu soin d'humecter auparavant l'une d'elles d'une couche d'acide nitrique, pour obtenir un fort courant dans lequel la dernière joue le rôle de métal négatif. Ainsi donc non-seulement l'acide nitrique, en empêchant par son contact avec la lame de platine, le dépôt de l'hydrogène naissant et par conséquent la polarité secondaire, rend le courant constant, mais en même temps il contribue à en augmenter l'intensité, comme le font le peroxyde de plomb et en général les substances qui renferment beaucoup d'oxygène. Un inconvénient réel de la pile à acide nitrique de Grove, c'est que sa constance ne dure pas longtemps; si son circuit est fermé quelques moments de suite sans interruption, pour peu que le conducteur qui réunit ses pôles soit bon, on voit des vapeurs nitreuses s'échapper des vases poreux où est l'acide nitrique, cet acide lui-même changer de couleur et devenir bouillant; et alors il faut arrêter l'action de la pile. On peut atténuer cet inconvénient en mêlant un peu d'acide sulfurique concentré (la moitié ou le tiers) avec l'acide nitrique, ou même prendre, au lieu d'acide nitrique de 1,40, de l'acide nitrique mélangé avec moitié d'eau. Mais le courant perd en intensité ce qu'il gagne en constance, surtout si on emploie le second moyen, car avec le premier, qui est bien préférable, la force n'est pas sensiblement diminuée. On a proposé encore de remplacer l'acide nitrique par du peroxyde de manganèse mélangé avec de l'acide sulfurique concentré; mais on n'a pas obtenu par ce procédé de résultats satisfaisants.

La pile de Bunzen, dans laquelle le platine est remplacé par

sont unis métalliquement par une lame mince en laiton munie de crochets et de vis de manière à former une pince. Dans la figure 33 du tome I, elles sont simplement unies par une pince en bois ou en liége.

·bon (fig. 325) [1], ne présente pas au même degré l'incon-
que nous venons de signaler dans la pile de Grove;
nt à ce que le charbon étant moins conducteur que le
, le courant qui resulte de la fermeture du circuit est

Fig. 325.

·iolent. Cependant au bout d'un temps un peu plus long
ent, ce qui tient aussi à ce que la masse de l'acide y est
éral plus considérable, on voit les vapeurs nitreuses

[1] I, page 43, figure 34, et p. 44, figure 35.

iman emploie comme charbon, dans la pile de Bunzen, de la plomba-
ırelle ou de la plombagine artificielle, telle que celle dont on fait les
De simples morceaux de coke bien choisis peuvent également servir
ıtage.

lu reste comment M. Bunzen prépare ses charbons :

ipare d'abord un mélange intime et en poudre impalpable de 1 partie
grasse (en poids), et de 2 parties de coke. Ce mélange est introduit dans
de tôle cylindrique, au centre duquel on place un petit rouleau de car-
centimètre de diamètre, afin de ménager dans le charbon une cavité in-
et de faciliter le dégagement des gaz pendant la calcination. Ainsi rempli
ge de charbon, et fermé au moyen d'un couvercle mobile bien assujetti,
de tôle est chauffé au rouge jusqu'à ce que tout dégagement de gaz ait
·s cette calcination, le charbon est facilement retiré du moule sous forme
, cylindrique comme le moule, très-dur et susceptible de se prêter au
la lime et de la scie sans se briser ; le tourneur peut donner à ces cy-
forme convenable. Cela fait, il est bon de tremper à plusieurs reprises
res de charbon dans une solution de mélasse concentrée, et de les sou-
une nouvelle calcination aussi intense que possible. On peut calciner
·lements ensemble dans un grand creuset de terre ou de fer, les in-
étant remplis de coke pulvérisé.

avant de plonger le charbon dans l'acide nitrique, il est indispensable
rir d'une couche de cire fondue le collet sur lequel on a adapté l'an-
la tige métallique destinée à établir la communication nécessaire entre

s'élever et l'acide entrer en ébullition. Aussi faut-il prendre également la précaution de ne pas mettre l'acide nitrique pur, mais bien de le mélanger avec de l'eau. On peut même se contenter de plonger les charbons, quand ils ont séjourné longtemps dans l'acide nitrique, dans une dissolution d'acide sulfurique dont on remplit les tubes poreux. L'acide nitrique dont les charbons sont imprégnés suffit assez longtemps pour accroître la puissance et maintenir la constance des couples[1].

Cette propriété du charbon m'a servi à construire une pile dans laquelle l'oxygène lui-même peut, jusqu'à un certain point, remplacer l'acide nitrique. J'introduis (fig. 326) dans un tube poreux, au centre duquel est un fil de platine, du charbon bien recuit et par conséquent bon conducteur, réduit en poudre impalpable ; j'ai soin de le bien tasser; puis je place le tube poreux ainsi rempli dans l'intérieur d'un cylindre de zinc

le charbon et le zinc, afin d'empêcher que, par l'effet de la capillarité, l'acide ne vienne à corroder le métal.

Après chaque expérience, l'acide nitrique peut sans inconvénient rester en contact avec les charbons. La cellule contenant l'acide sulfurique doit au contraire être enlevée, vidée et lavée à grande eau, ainsi que le cylindre en zinc.

[1] M. Callan a eu l'idée de remplacer par du plomb le platine et le charbon dans les piles de Grove et de Bunzen, et il a obtenu des résultats assez satisfaisants. Mais il a trouvé un grand avantage à recouvrir la lame de plomb d'une légère couche de platine ou d'or, au moyen des chlorures de ces deux métaux. Il est évident que ce serait une grande économie que d'employer pour les piles de Grove des lames de cuivre ou de plomb platinées, au lieu de lames de platine. M. Schoenbein a eu également l'idée d'employer, comme métal négatif du fer passif, et comme métal positif du fer ordinaire, le premier étant en contact avec l'acide nitrique, et le second avec la dissolution d'acide sulfurique. Il est assez curieux de voir le même métal, le fer, jouer à la fois le rôle de métal négatif et de métal positif. Toutefois, sous ce dernier rapport, le zinc amalgamé est très-préférable ; mais des cylindres creux en fonte, dont la paroi intérieure a été rendue passive, peuvent très-bien servir à la fois de métaux négatifs du couple et de vases dans lesquels on met l'acide nitrique, puis le tube poreux rempli de la dissolution d'acide sulfurique dans laquelle plonge le fer ou mieux le zinc amalgamé. Je me suis servi longtemps avec avantage de piles ainsi construites.

M. Callan s'est également servi dernièrement de fonte de fer pour construire avec du zinc amalgamé une pile à un seul liquide, chargée avec un mélange d'acide sulfurique et d'une dissolution saline. Il a obtenu de très-bons effets de cette disposition.

gamé qui, lui-même, est plongé dans la dissolution d'a-
sulfurique. Une pile, de huit à dix couples, construite
tte manière et dont les cylindres de zinc n'avaient que
centimètres de hauteur et quatre de diamètre, m'a donné
nt huit jours sans interruption une décomposition de
acidulée, non très-forte de 1 à 2 centimètres cubes par
te, mais très-constante. L'hydrogène, qui aurait polarisé
rbon dans chaque couple, disparaît par sa combinaison, à
naissant, avec l'oxygène que le charbon retient dans ses
et qu'il prend à l'air atmosphérique. Quand la pile s'af-
, quelques gouttes d'acide nitrique versées sur la face
ieure du cylindre de charbon tassé, la raniment pour un
assez long. Mais il arrive un moment où le sulfate de
ayant pénétré dans la poudre de charbon, il faut démon-
pile pour laver à pleine eau cette poudre, ou, ce qui est
simple, pour la changer. J'ai trouvé qu'on pouvait rem-
avec avantage dans cette pile les fils de platine par de
cylindres de charbon d'un centimètre de diamètre envi-
réparés comme ceux qui servent dans les piles de Bunzen,
ant soin de les placer dans l'axe des tubes poreux avant
entourer de la poudre de charbon, et d'y implanter un
cuivre destiné à établir la communication.
eatstone, comme nous le verrons dans l'instant, a employé
succès dans ses recherches des cou-
lans lesquels il n'y a non plus qu'un
le, mais en évitant le contact immé-
lu métal positif avec ce liquide. Ce
est dissous dans du mercure, de
re à former un amalgame liquide;
lgame lui-même est placé dans un
tube poreux (fig. 326), et le tube est
é dans la solution qui baigne le métal
if, sulfate de cuivre, si ce métal né-

Fig. 326.

est du cuivre, chlorure de platine, si ce métal est du pla-
Un fil de cuivre ou de platine est plongé dans l'amalgame
soutirer l'électricité négative. L'affinité chimique qu'exerce
oxygène ou sur le chlore de la dissolution le métal positif,

le zinc, par exemple, dissous dans le mercure, suffit pour déterminer la production d'un courant qui est passablement constant [1], cependant moins que dans les piles à deux liquides, car on aperçoit bientôt un peu de cuivre métallique dans l'amalgame, contre la paroi intérieure du tube poreux, quand la dissolution est du sulfate de cuivre, ce qui est dû à l'action locale du zinc sur le sulfate, qui réduit un peu de cuivre.

Dans toutes les piles à deux liquides, et même souvent dans celles où il n'y a qu'un liquide, on est donc appelé à employer des diaphragmes ou des tubes poreux qui, tout en empêchant le mélange des substances qu'ils séparent, permettent, en s'humectant, la communication électrique de s'établir entre elles. Ces diaphragmes, comme nous l'avons vu, sont de différentes espèces, et il n'est pas inutile, avant de terminer ce qui concerne les détails de construction des différentes piles, d'en dire quelques mots.

La baudruche et la vessie, à raison de leur peu d'épaisseur, sont les diaphragmes qui opposent le moins de résistance au passage du courant; mais les agents chimiques les détruisent promptement, et ils ont l'inconvénient de faciliter trop l'endosmose des liquides qui ne peuvent ainsi rester longtemps séparés. Aussi ce genre de diaphragme, qui peut être bon dans certaines expériences de recherches délicates, doit-il être rejeté dans la construction des piles usuelles. Le cuir et la peau tannés ont les mêmes inconvénients, mais à un degré moindre; cependant la préparation qu'il faut leur faire subir les altère quelquefois assez pour les rendre impropres à l'usage auquel on les destine. La toile à voile est meilleure, vu qu'elle n'a qu'un faible degré d'endosmose sur les dissolutions neutres; il faut quand on leur donne la forme de sac, que la couture soit faite avec un fil enduit de poix. Le papier ou carton goudronné un peu perméable aux liquides est un assez bon diaphragme; le goudron empêche le papier de se délayer dans l'eau. Mais en fait de diaphragmes organiques, ceux qui sont faits en bois

[1] Il faut que le sel en dissolution soit un sel dont la base soit le même métal que le négatif du couple, afin que le courant voltaïque, en le décomposant, n'altère pas la nature de la surface de ce métal négatif.

minces sont peut-être préférables à tous. Ainsi, pour la pile de Daniell, des cylindres creux en bois de tilleul à parois très-minces m'ont constamment donné de bons résultats. Il faut avoir soin, pour enlever les matières résineuses qui se trouvent dans le bois, surtout lorsque c'est de sapin qu'on fait usage, de le plonger pendant longtemps dans de l'eau bouillante alcalisée; puis il faut les conserver, quand on ne s'en sert pas, dans de l'eau légèrement acidulée; autrement ils se cambrent et se fendent en séchant, ce qui les rend impropres à leur destination.

Les diaphragmes inorganiques sont, en général, d'argile, ou mieux de kaolin : ce dernier, dépouillé de carbonate de chaux, forme à l'état de pâte un diaphragme auquel on peut donner beaucoup d'épaisseur, ce qui est avantageux pour éviter l'endosmose, pourvu qu'il soit bien imbibé d'un liquide bon conducteur et qu'il ne soit pas trop fortement tassé. Mais c'est surtout sous forme de vases, soit prismatiques comme dans les piles de Grove, soit cylindriques comme dans celles de Bunzen, que les diaphragmes inorganiques sont usités; on les fait en général de porcelaine dégourdie, mais ils offrent plus de résistance que la terre demi-cuite et que les creusets; ceux-ci sont fort commodes, parce qu'on peut s'en procurer facilement, seulement il faut avec la lime diminuer l'épaisseur de leurs parois, qui, généralement, est trop considérable. Il faut avoir soin de laver souvent tous ces diaphragmes, afin d'enlever les sels qui, pénétrant et cristallisant dans leur intérieur, finissent par faire éclater les parois. Il faut aussi veiller à ce que les diaphragmes ne renferment ni du charbon, ni des pyrites ou autres substances d'origine métallique qui, étant conductrices, établiraient entre les deux liquides que le diaphragme sépare, une communication d'une toute autre nature que celle qu'on a en vue, c'est-à-dire une communication métallique qui déterminerait une décomposition électro-chimique; c'est à la présence de ces substances hétérogènes qu'on peut attribuer l'apparition qui a lieu quelquefois sur la surface des diaphragmes, de dépôts métalliques réduits. Les substances organiques ne présentent pas ce genre d'inconvénient, mais elles ont celui de produire par elles-mêmes la réduction de certains métaux

quand elles plongent dans leurs dissolutions. En résumé, dans la pratique, c'est aux diaphragmes en porcelaine dégourdie qu'on a donné la préférence, quoiqu'ils présentent plus de résistance que les autres au passage du courant.

Nous ne nous arrêterons pas ici à la description de quelques autres piles plus ou moins constantes, telles que celles dans lesquelles le conducteur humide est simplement la terre, soit qu'on implante dans le sol humide, comme l'ont fait Bain, Loomis et d'autres, les deux métaux du couple, soit qu'on les place dans un vase rempli de terre qu'on arrose avec de l'hydrochlorate d'ammoniaque, comme dans la pile de Bagration[1]. Ces différentes piles ayant été constituées en vue des applications, leur description trouvera naturellement sa place quand nous parlerons de celles des applications auxquelles elles se rapportent. Nous renvoyons de même au § 7 de ce chapitre, où nous traiterons la question du contact, la théorie des piles sèches dont nous avons déjà donné la description[2].

Mais si, au point de vue de la forme, nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit, soit dans ce paragraphe, soit dans le § 5 du second chapitre de notre première partie[3], il est loin d'en être de même quant à la nature des substances solides et liquides qui constituent les couples; mais ce point important va être traité avec détail dans le paragraphe suivant, consacré à la mesure des forces électromotrices et à la comparaison, sous le rapport de leur puissance, des différentes combinaisons voltaïques entre elles.

Toutefois, avant d'aborder ce sujet important, nous avons encore à mentionner un procédé tout différent de ceux qui pré-

[1] Cette pile produit un courant d'une constance étonnante, ce qui provient soit de la réduction de l'hydrogène sur le cuivre, par le composé que forme sur ce métal le sel ammoniacal, soit par l'absorption de l'hydrogène par la terre elle-même, qui du reste fait l'office de diaphragme, et empêche ainsi un dépôt d'étain sur le cuivre. Il est bon de ne pas mettre les deux plaques du couple trop près l'une de l'autre, et de plonger la plaque de cuivre, avant de la mettre en terre, dans une dissolution de sel ammoniacal en la laissant sécher jusqu'à ce qu'il se soit formé une couche verdâtre à la surface.

[2] Tome I, page 52.

[3] Tome I, page 34.

nt, pour maintenir et augmenter la puissance des piles en
ésant les polarités secondaires; c'est celui que vient d'ima-
r tout récemment M. E. Becquerel, et qui, s'il n'a pas
la portée pratique à laquelle on aurait pu peut-être s'at-
re, n'est pas sans intérêt au point de vue théorique. Le
édé consiste à donner aux couples d'une pile un mouve-
t assez vif dans le liquide qui les baigne. Ainsi M. E. Bec-
el a obtenu avec un seul couple platine et zinc amalgamé
augmentation très-sensible par le fait du mouvement; ce
le en repos dans une dissolution de sulfate de soude à moi-
turée donnait à un galvanomètre peu sensible une déria-
de 8°; quand on l'a mis en mouvement, la déviation est
jusqu'à 20°. Cet effet est évidemment dû à ce que le
vement dépolarise la lame de platine; cependant il y a de
ntage à mouvoir aussi la lame de zinc, parce qu'on change
les couches liquides qui baignent sa surface. Si l'on rem-
par une dissolution d'acide sulfurique celle de sulfate de
e, l'effet du mouvement est beaucoup moins prononcé à
e du dégagement abondant de l'hydrogène sur le platine;
il le devient davantage quand on met dans l'acide sulfu-
e étendu, du charbon bien pulvérisé de manière à en faire
pâte. Cette pâte facilite la dépolarisation du platine en
rbant l'hydrogène, en même temps qu'elle l'enlève par son
n mécanique de frottement.

ici une expérience qui donne l'idée de l'effet que peut pro-
la dépolarisation du métal négatif des couples d'une pile,
le au moyen du mouvement. M. E. Becquerel a disposé une
pile voltaïque de 10 couples formés de disques de zinc
gamé et de cuivre de 10 centimètres de diamètre, portés
n axe de manière à pouvoir être mis en mouvement à
d'une manivelle; leur surface était parallèle et à 1 centi-
de distance, et ils plongeaient dans des auges où l'on
it placer un liquide ou une masse pâteuse, de façon que
irconférence ne pénétrât qu'à 1cent.,5 de profondeur au-
ns de la surface du liquide. Deux conducteurs en cuivre
ient sur deux bassins en cuivre soudés aux deux disques
aque couple fixés sur l'axe, de sorte que, lors du mouve-

ment des disques mêmes, un de chacun d'eux plongeait toujours dans le liquide, et l'on pouvait faire communiquer les deux disques entre eux.

La pile de 10 couples a été employée à décomposer l'eau, et l'on a mesuré l'hydrogène à l'électrode négatif à l'aide d'une mesure graduée par dixième de centimètre cube.

Liquide contenu dans les auges de la pile.	Etat des disques.	Volume d'hydrogène en cent. dégagé en 20'.
Eau saturée de sulfate de soude.	Repos.	6,25
	Mouvement.	46,75
Charbon de coke réduit en pâte liquide par de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique au $\frac{1}{100}$.	Repos.	21,00
	Mouvement.	136,00

On voit que lors du mouvement l'effet de la pile a été sept fois plus considérable.

Il résulte cependant des recherches de M. E. Becquerel, que le mouvement est, indépendamment de la dépolarisation qu'il opère, un moyen de dégager de l'électricité. Ainsi, de deux lames de zinc plongées dans une même dissolution, celle qui est en mouvement devient négative par rapport à celle en repos qui demeure positive; il en est de même des autres métaux oxydables. Avec ceux qui ne le sont pas ou qui le sont moins, c'est l'inverse; ainsi, soit qu'on opère dans de l'eau distillée, soit qu'on se serve d'une dissolution acide ou saline, dans un couple composé de deux éléments semblables, platine ou charbon par exemple, c'est le mobile qui est positif par rapport au fixe, c'est-à-dire qui joue, par rapport à lui, le rôle de métal attaqué. Dans le premier cas, il est évident que le contact établi par le mouvement entre l'un des éléments du couple et l'oxygène de l'air, tend à le dépolariser en lui ôtant l'hydrogène adhérent à sa surface, et par conséquent à le rendre négatif; dans le second, il est possible que l'oxygène que prend à l'air l'élément mobile, aide le liquide dans lequel cet élément est ensuite plongé, à exercer sur lui une action chimique qui donne naissance au faible courant dont le galvanomètre accuse l'existence. Il se peut aussi que le simple frottement qui résulte

gitation un peu vive de cet élément dans le liquide soit la e de cette électricité. Cependant, si d'un côté la présence de ıdre de charbon augmente l'effet, tandis que celle du sable le liquide ne l'accroît pas, il est difficile de voir là des de frottement. Nous serions plutôt disposés à attribuer :es phénomènes un peu compliqués à de petites réactions ques qui résultent de l'introduction de l'air dans le li- sous l'influence des corps solides en mouvement. Ils se- ı du même ordre que ceux que M. Becquerel le père avait étudiés depuis longtemps, tels en particulier que ce fait ux que, lorsqu'on termine les deux bouts du fil d'un gal- nètre par deux lames de platine plongeant dans de l'eau lée et qui ne sont point polarisées, si on en retire une de et qu'on la replonge immédiatement, elle détermine un nt dans lequel elle est positive par rapport à l'autre.

Mesure de la force électromotrice relative des diverses combinaisons voltaïques.

ıs avons vu[1] que l'intensité d'un courant peut être repré- par la formule $I = \frac{E}{R}$, E étant l'ensemble des forces élec- trices, c'est-à-dire productrices de l'électrité, qui sont ivité dans un circuit électrique, et R l'ensemble des ré- :es que ce circuit présente à la circulation du cou- Nous avons défini plus tard la force électromotrice d'un : hydro-électrique, la force avec laquelle les molécules es qui entrent dans la formation de ce couple sont ıées en vertu de l'affinité chimique[2]. Pour le moment nous bornerons à désigner sous ce nom, sans faire e hypothèse sur sa nature, la force qui produit l'électri- ıns un circuit voltaïque, abstraction faite de la résis- que ce circuit présente. La force électromotrice peut tre mesurée, ou par l'intensité du courant auquel elle naissance mulipliée par la résistance du circuit E = I

ne II, pages 19 et 20.
ne II, page 624.

$\times$ R, ou par la tension statique des extrémités du système hydro-électrique, le circuit étant ouvert. En effet, d'après ce que nous avons établi plus haut[1], la tension d'un couple ou d'une pile voltaïque n'étant qu'une décharge ou qu'un élément d'un courant, puisqu'elle est toujours accompagnée d'une action chimique correspondante, il ne doit pas y avoir de différence, quant à la force électromotrice, entre les deux formes de sa manifestation; seulement, comme la vitesse avec laquelle l'électricité se propage n'exerce pas sur l'intensité de la tension, puisqu'il y a accumulation d'électricité, la même influence que sur celle du courant, la résistance ne joue pas le même rôle dans l'expression de l'une ou de l'autre intensité. Nous verrons plus loin qu'on peut arriver exactement aux mêmes valeurs, pour l'expression de la force électromotrice relative des différentes combinaisons voltaïques, en l'évaluant, soit par l'intensité du courant, soit par celle de la tension auxquelles ces combinaisons donnent naissance. Mais comme les procédés fondés sur l'évaluation de l'intensité du courant sont d'une exécution beaucoup plus facile et plus susceptible d'exactitude, c'est à eux que nous nous attacherons de préférence.

Le premier de ces procédés est celui indiqué par Ohm lui-même, et qui consiste à mesurer les intensités du courant produit par une même source d'électricité, en introduisant dans son circuit, à côté de la résistance invariable tenant à la nature même de ce circuit, deux résistances variables; il est facile de conclure de la comparaison de ces deux intensités la force électromotrice de la source. Soit en effet $\left(i = \frac{e}{r+l}\right)$ et $\left(i' = \frac{e}{r+l'}\right)$, e étant la force électromotrice, r la résistance invariable, l et l' les deux résistances additionnelles[2], et i et i' les intensités correspondantes du courant, mesurées par le galvanomètre à sinus ou à tangente, on a, en égalant les deux

[1] Tome II, pages 615 et 616.

[2] Les résistances sont mesurées par des longueurs de fil, comme nous l'avons expliqué tome II, pages 22 et 28.

ns de e, $r+l=\frac{i}{i-i'}(l'-l)$ d'où $e=\frac{ii'}{i-i'}(l'-l)$)
stituant à $r+l$ sa valeur dans la valeur de i ci-dessus.
valeur de e est donnée en fonction de la différence des
eurs du fil, ou des résistances additionnelles que le cou-
urmonte dans sa circulation.

l'on pouvait faire varier la force électromotrice au lieu
ésistance, d'une quantité connue, on obtiendrait de même
eur de cette force; mais ce procédé, qui serait praticable
es circuits thermo-électriques où une simple élévation
pérature suffit pour changer cette force, ne l'est pas pour
mbinaisons voltaïques ou hydro-électriques, dans les-
s on ne peut modifier la force électromotrice, sans
er en même temps un changement à la résistance.

second procédé, employé par Fechner, consiste, pour com-
deux forces électromotrices, à réunir deux couples dif-
dont les forces électromotrices sont e et e', de façon que
ourants cheminent d'abord dans le même sens, ensuite en
ntraires, puis à mesurer la somme s et la différence d des
tés de leurs courants respectifs. On a en effet $s=\frac{e+e'}{r+r'}$ et
$\frac{-e'}{+r'}$ d'où $\frac{e}{e'}=\frac{s+d}{s-d}$ en égalant les deux valeurs de $r+r'$.

pose dans ce procédé que l'intensité du courant est pro-
nelle à la somme ou à la différence des deux forces
notrices, ce qui découle des principes que nous avons
ans notre premier chapitre, et ce qui d'ailleurs est d'ac-
ec l'expérience, comme nous allons le voir. Quant à la
ce de la combinaison voltaïque qui résulte de la réunion
x couples, elle est évidemment la somme des résistances
un des deux couples en particulier, de quelque manière
ient réunis.

oisième procédé, pratiqué également par Fechner, repose
rincipe que, si les résistances sont égales, les forces
notrices sont entre elles comme les intensités des cou-
onséquence de la formule qui exprime ces intensités.
rient à cette égalité des résistances en ajoutant dans le

circuit de chacun des couples à leurs résistances respectives r et r', une résistance R très-grande par rapport à laquelle les deux autres puissent être regardées comme infiniment petites. On peut alors considérer dans les deux expressions $i = \frac{e}{r+R}$ et $i' = \frac{e'}{r'+R}$, les résistances $r+R$ et $r'+R$ comme sensiblement égales, d'où l'on tire :

$$e : e' = i : i'.$$

Pour appliquer cette méthode, M. Fechner emploie un galvanomètre à fil très-long dont l'introduction dans le circuit du couple détermine cette résistance R, infiniment grande par rapport aux résistances r et r'.

Ajoutons que, pour mesurer l'intensité du courant, M. Fechner emploie la méthode des oscillations d'une aiguille aimantée placée dans le voisinage du conducteur qui transmet le courant, méthode mise en pratique pour la première fois par MM. Biot et Savart [1].

M. Poggendorff a fait la remarque fort juste que l'application des trois procédés que nous venons de décrire, aux cas des combinaisons voltaïques à force non constante, et dans lesquelles, comme nous l'avons vu, l'intensité du courant va rapidement en diminuant, du moins quand les circuits sont fermés, rend toute mesure de ce courant difficile. Ce n'est pas tout; en supposant même qu'on arrive à un état assez constant du courant pour pouvoir le mesurer, on reconnaîtra dans le principe même des procédés, une objection très-forte contre l'exactitude des résultats qu'on veut en tirer. En effet, si on cherche à déterminer par la première méthode, celle de Ohm, la force électromotrice e, on trouve pour l'expression de cette force une valeur d'autant plus grande que la résistance absolue est plus considérable, ce qui tient à ce que le couple s'affaiblit d'autant moins vite que le circuit dont il fait partie est moins conducteur, les causes pertubatrices, telles en particulier que la polarisation du

[1] Tome I, page 211.

il négatif, ayant d'autant moins de puissance. La résistance lue r varie également par la même raison. On conçoit donc le procédé est tout à fait illusoire, puisque les deux quan- supposées constantes dans la formule e et r varient avec sistances additionnelles l et l' qu'on introduit. Il est vrai cette variation des deux quantités e et r est d'autant moins idérable que la résistance totale est plus grande; c'est ce ait que Fechner a pu obtenir des résultats assez exacts par lication de la troisième méthode, même aux cas des cou- de force non constante. M. Poggendorff a du reste proposé, la détermination de la force électromotrice de ces courants, méthode beaucoup plus exacte, qui est fondée sur un prin- igoureux : elle repose sur la théorie des circuits composés, à-dire formés de la réunion de deux ou plusieurs couples lesquels on admet, ainsi que cela résulte des expériences chner, de Pouillet et de M. Poggendorff lui-même, et ie nous l'avons rappelé plus haut, que la force électro- ce d'un circuit composé est la somme ou la différence des électromotrices des circuits simples dont il se com- et que sa résistance est de même la somme des résis- des circuits simples. La méthode de M. Poggendorff l'emploi d'un couple à force constante, tel qu'un couple ove, dont on a déterminé la force électromotrice par un des précédents procédés qui sont applicables dans ce cas, et on nse, au moyen du courant de ce couple, celui du couple e non constante dont on veut déterminer la force électro- ce; c'est pourquoi cette méthode a reçu de son auteur le le *méthode de compensation*. Dans l'application de sa mé- , M. Poggendorff emploie deux procédés dont le second le premier l'avantage de ne pas exiger une constance par- et très-prolongée du couple à force constante, condition le en général à réaliser, et de ne pas imposer la nécessité nnaître d'avance les deux éléments e et r de ce couple [1]. fois, comme il importe néanmoins, même dans l'emploi

[1] ez pour les détails de la méthode de Poggendorff, la note finale F, qui est rée à l'exposition plus mathématique des différentes méthodes.

du second procédé, de savoir déterminer la force électromotrice d'un couple à force constante, et que d'ailleurs cette détermination est à la fois la plus simple et la plus importante dans la pratique, c'est par elle que nous commencerons, en nous servant pour cela d'une cinquième méthode qui est celle de Wheatstone.

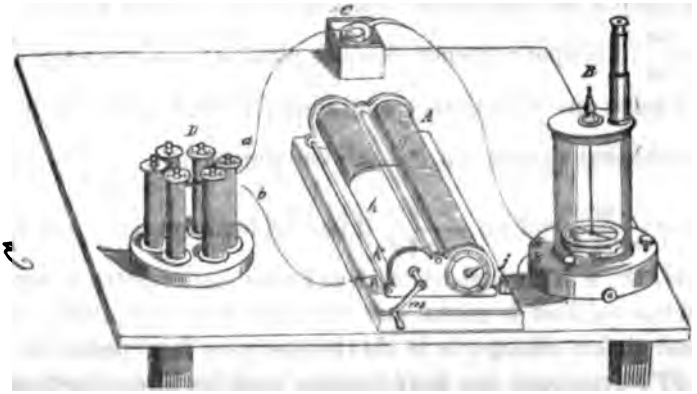
M. Wheatstone remarque d'abord que si dans un circuit on augmente dans le même rapport la force électromotrice et la résistance, l'intensité du courant ne change pas; ainsi $i=\frac{e}{r}=\frac{ne}{nr}$. Il suit de là qu'un seul couple voltaïque ou une pile composée d'un nombre quelconque de couples semblables doivent donner naissance à des courants de même intensité, pourvu qu'on introduise chaque couple avec sa résistance propre sans interposer aucune résistance additionnelle. Toute résistance nouvelle interposée diminue la force du courant, mais son effet est d'autant moindre qu'elle est plus petite par rapport à la résistance totale du circuit; d'où il résulte que si, dans deux circuits qui produisent des courants de force égale, mais dans lesquels les résistances, et par conséquent les forces électromotrices sont très-différentes, on introduit la même résistance, les intensités des deux courants seront affaiblies dans des proportions très-différentes aussi. C'est pourquoi la même résistance, celle provenant par exemple de l'introduction d'un voltamètre, affaiblit, dans une proportion bien plus considérable, l'intensité $i=\frac{e}{r}$ du courant provenant d'un seul couple, que l'intensité $i=\frac{ne}{nr}$ provenant du courant d'un circuit de n couples mis en série. Ces principes, qui découlent de ce que nous avons déjà dit plus haut, et en particulier dans le chapitre Ier de notre quatrième partie[1], expliquent pourquoi il faut employer une série de couples d'autant plus nombreuse que la résistance que le courant rencontre est plus considérable.

[1] T. II, pages 19 et suiv.

Après avoir rappelé les principes qui précèdent, voyons l'application que M. Wheatstone en a faite. Pour éviter d'avoir à mesurer les intensités variables des courants, soit par les galvanomètres à sinus ou à tangente, soit par le nombre des oscillations d'une aiguille aimantée, mesures peu susceptibles d'une exactitude rigoureuse, il introduit dans le circuit, au lieu de résistances constantes, des résistances variables, ramenant ainsi à l'égalité les courants produits dans les circuits dont on compare la force électromotrice; puis il conclut du total de la résistance additionnelle introduite dans chaque cas pour passer d'une certaine déviation de l'aiguille du galvanomètre toujours la même, de 45° par exemple, à une autre déviation de 40°, toujours la même aussi, les valeurs relatives des forces électromotrices et des résistances du circuit, selon les conditions particulières de l'expérience. Il n'est nullement nécessaire, dans cette méthode, de connaître les forces correspondantes aux déviations de l'aiguille.

M. Wheatstone, pour introduire dans le circuit une résistance variable, se sert du rhéostat dont nous avons donné déjà la description détaillée[1] : le fil de cuivre de cet instrument étant interposé dans le circuit, il suffit de l'allonger ou de le raccourcir d'une quantité qu'on peut mesurer avec la plus grande exactitude pour ajouter ou retrancher une résistance

[1] Tome II, page 29, figure 183. Nous en reproduisons ici la figure.



qui est exprimée en longueur de ce fil. Quand il s'agit de mesurer des résistances trop grandes pour que l'introduction du fil du rhéostat tout entier, quoiqu'il soit fort long, puisse amener le courant à ne dévier l'aiguille du galvanomètre que de la quantité voulue de 45° par exemple, on introduit dans le circuit des bobines de résistance qui sont disposées à côté du rhéostat, comme l'indique la figure, de manière à pouvoir en interposer un plus ou moins grand nombre. On parvient ainsi à réduire le courant à l'intensité de 45° en complétant, au moyen du rhéostat, ce qui manque à la résistance ajoutée pour atteindre exactement cette déviation; résistance du reste qu'il n'est point nécessaire de connaître, puisque ce qu'il s'agit de mesurer, c'est uniquement la longueur du fil du rhéostat qu'il faut ajouter pour que le courant passe dans chaque cas de l'intensité de 45° à celle de 40°.

Soit maintenant $i' = \frac{e}{r}$, i ayant été amené à produire 45° au galvanomètre avec le couple dont la force électromotrice est e, et la résistance r, soit l la longueur du fil du rhéostat qu'il faut ajouter à r pour que i devienne i', et ne produise plus que 40° au galvanomètre. On a $i = \frac{e}{r+l}$, soit maintenant une autre combinaison voltaïque dont la force électromotrice soit $e' = ne$. Pour que son courant n'ait que l'intensité i produisant 45°, il faudra que la résistance soit $r' = nr$, ce qu'on obtiendra au moyen des bobines de résistance; on aura en effet : i ou $\frac{e}{r} = \frac{ne}{nr}$; mais pour amener i à n'être plus que i', c'est-à-dire 40°, il faudra que la résistance additionnelle ou la longueur du fil du rhéostat ajoutée soit $l' = nl$; car puisqu'on a $i = \frac{ne}{nr}$ pour avoir $\frac{ne}{nr+l'} = i'$ ou $= \frac{e}{r+l'}$, il faut évidemment que l' soit égal à nl. Or, n est le rapport des deux forces électromotrices e et e'; on voit qu'il est le même que celui des deux quantités l et l' dont il faut allonger le fil du rhéostat pour faire passer de 45° à 40° les courants des deux couples dont les forces électromo-

ces sont e et e'; sa détermination est donc bien facile. Dans pplication que nous allons faire du procédé à la détermina- n des forces électromotrices de différentes combinaisons vol- ques, nous nous contenterons, pour exprimer les longueurs utées du fil du rhéostat, d'indiquer le nombre de tours dont il a été déroulé, chaque tour correspondant à une longueur $8^{cent.}$, 8.

Trois couples, différents seulement par leurs dimensions, mposés chacun d'un amalgame liquide de zinc placé dans une ge poreuse cylindrique, laquelle est plongée dans un vase mpli d'une dissolution de sulfate de cuivre où est également nergé un cylindre creux en cuivre, furent successivement tés dans un circuit dont le rhéostat faisait partie. Tous les s exigèrent également 30 tours du rhéostat pour que leur rant fût amené de 45° à 40°. Cependant l'un avait $5^{cent.}$ de teur et $3^{cent.}$, 8 de diamètre; le second, $8^{cent.}$, 4 de hauteur $^{cent.}$, 35 de diamètre; le troisième, $15^{cent.}$ de hauteur et ·, 4 de diamètre. Ainsi la force électromotrice est complé- ent indépendante de la grandeur des surfaces du couple; ce est une conséquence de la nature de cette force, ainsi que s l'avons déjà remarqué.

n'en est pas de même de l'influence du nombre des couples. st facile de prouver que la force électromotrice croît pro- tionnellement à ce nombre, conformément à la théorie. si avec un circuit formé successivement de 1, 2, 3, 4 et 5 ples semblables au plus petit de ceux dont nous venons de s servir, on trouve que pour amener le courant de 45° à 40°, ut :

Avec 1	couple	30 tours.
2	couples	61
3	couples	91
4	couples	120
5	couples	150

voit donc que, sauf pour les cas de 2 et de 3 couples, où il y e légère différence provenant d'une petite erreur d'expé- ce, la loi se vérifie exactement.

Si nous passons maintenant à la détermination de la force électromotrice de couples de différentes espèces, nous trouvons d'abord un résultat assez remarquable, c'est que, lorsqu'on se borne à changer dans le couple, amalgame de zinc, sulfate de cuivre et cuivre, le sulfate, pourvu que ce soit toujours un sel de cuivre, en le remplaçant par l'acétate, le protochlorure, le nitrate ou le sulfate ammoniacal, on a les mêmes forces électromotrices, sauf en ce qui concerne le nitrate, qui donne un résultat variable, probablement à cause de l'action de l'acide nitrique sur le mercure. Un autre fait curieux, c'est que la proportion de zinc dans l'amalgame liquide ne paraît point affecter non plus la force électromotrice du couple; seulement l'action dure moins longtemps. Au fond c'est un résultat tout à fait semblable à celui qui nous a montré que l'influence sur la force électromotrice de l'étendue de la surface de contact entre les métaux du couple et le liquide dont il est chargé, est tout à fait nulle. La quantité de zinc dissoute dans l'amalgame détermine le nombre de points de la surface de cet amalgame susceptibles d'être attaqués par le liquide; elle produit donc, en variant, le même effet qu'une augmentation ou une diminution dans la surface du même amalgame, c'est-à-dire un effet nul sur la force électromotrice. Celle-ci n'étant en effet que la propriété du courant qui la possède de surmonter une résistance donnée, elle doit être la même pour chaque point ou chaque molécule de la surface attaquée; quant à la quantité absolue d'électricité qui passe, il est clair qu'elle varie avec le nombre des points attaqués, mais ce n'est pas elle que nous mesurons ici.

La plus grande force électromotrice que puisse avoir un couple voltaïque composé de deux métaux et d'un liquide interposé, est obtenue quand le liquide est une dissolution d'un sel ayant pour base le métal négatif. En effet, de cette manière on évite sur ce métal le dépôt de matières hétérogènes qui, en le polarisant, réduisent notablement la force électromotrice. Ainsi, en remplaçant dans le couple, amalgame de zinc, sulfate de cuivre et cuivre, le sulfate par de l'acide sulfurique étendu, on n'a plus que 20 tours du rhéostat au lieu de 30, pour l'expression de la force électromotrice. De même si on remplace,

s un couple, zinc amalgamé, chlorure de platine et pla-
, le chlorure par de l'acide sulfurique étendu, on n'a plus
27 tours au lieu de 40. Voici, du reste, un tableau des
es électromotrices de différents couples :

Amalgame de zinc, acide sulfurique étendu, cuivre. . .	20	tours.
— de zinc, acide sulfurique étendu, platine. . .	27	
— de zinc, sulfate de cuivre, cuivre.	30	
— de zinc, chlorure de platine, platine. . . .	40	
— de zinc, acide sulfurique étendu, peroxyde de manganèse.	54	
— de zinc, acide sulfurique étendu, peroxyde de plomb.	68	
— de potassium, sulfate de zinc, zinc. . . .	29	
— de potassium, sulfate de cuivre, cuivre. . .	59	
— de potassium, chlorure de platine, platine. .	69	
— de potassium, acide sulfurique étendu, peroxyde de manganèse.	84	
— de potassium, acide sulfurique étendu, peroxyde de plomb.	98	

n point important pour la théorie de la pile, que M. Wheats-
a pu vérifier, au moyen de sa méthode, c'est que si l'on
d trois métaux dans leur ordre électromoteur, la force
romotrice d'un couple formé de deux métaux extrêmes
quivalente à la somme des forces électromotrices des deux
les formés des métaux consécutifs. Ainsi avec :

Amalgame de potassium, sulfate de zinc, amalgame de zinc.	29	tours.
— de zinc, sulfate de cuivre, cuivre.	30	
— de potassium, sulfate de cuivre, cuivre. . . .	59	
— de potassium, sulfate de zinc, amalgame de zinc.	29	
— de zinc, chlorure de platine, platine.	40	
— de potassium, chlorure de platine, platine. . .	69	

ns les deux exemples, la force électromotrice déduite du
nnement s'est trouvée être exactement équivalente à celle
ie par l'expérience.

Remarquons, en passant, la grande force électromotrice du potassium ainsi que celle du sodium qui n'est guère moindre, ce qui tient à leur puissante affinité pour l'oxygène et à la facilité avec laquelle par conséquent ils décomposent l'eau [1].

Une sixième méthode, sous le nom de *méthode d'opposition*, a été proposée par M. Jules Regnault pour la détermination des forces électromotrices; elle a été également employée par M. Gaugain. Elle est basée sur ce principe démontré par l'expérience, que si deux couples composés des mêmes éléments solides et liquides sont opposés l'un à l'autre, c'est-à-dire sont disposés de manière que, lorsqu'ils forment un circuit, l'élément positif du premier soit uni à l'élément positif du second, et que leurs deux éléments négatifs communiquent de même, il n'y a pas le moindre courant dans le système. Mais si les deux couples diffèrent, il y a circulation d'un courant dans le circuit, et la direction de ce courant est déterminée par celle du courant qui provient du couple dont la force électromotrice est la plus grande. M. Faraday, dans ses recherches sur l'origine chimique de l'électricité voltaïque, cite un grand nombre d'expériences qui établissent ce principe. La manière la plus naturelle de l'interpréter est d'admettre que dans le premier cas l'équilibre provient de ce que les forces électromotrices opposées sont égales; alors, en effet, la tendance à la polarisation

[1] M. Goodmann a trouvé que la manière la plus convenable d'employer le potassium dans la formation d'un couple voltaïque, consiste à le placer au fond d'un tube fermé par une membrane, et à mettre cette membrane en contact par sa partie inférieure avec la surface de l'eau acidulée qui recouvre une lame de platine horizontale. Une goutte de mercure placée sur la membrane sert à tenir constamment amalgamée la surface de potassium exposée à l'action de l'eau acidulée; et de l'huile de naphte dont le tube est rempli, le préserve dans tout le reste de sa surface de l'action oxydante de l'air. Un fil de cuivre implanté dans le morceau de potassium permet de fermer le circuit. Si l'on remplace par une solution de sulfate de cuivre celle d'acide sulfurique, le courant est plus constant, mais plus faible. Un couple ainsi construit décompose avec force l'eau acidulée placée dans un voltamètre à fils de platine; 12 rangées de séries donnant presque autant de tension que les 3520 couples à eau de Gassiot et les 100 de Grove, pourvu qu'ils soient bien isolés; un seul produit une légère divergence des feuilles d'or de l'électroscope. Suivant Henrici, l'amalgame de sodium a une force électromotrice presque aussi grande que celui de potassium.

toutes les parties du circuit aussi bien solides que liquides
:erçant exactement avec la même puissance, mais dans deux
:ctions opposées, l'effet en doit être nul. C'est comme si les
x couples de la figure 309, page 627, étaient disposés de
nière que le zinc du premier communiquât avec le zinc et
ı avec le platine du second; leur force électromotrice, au
ı de devenir double, deviendrait nulle. Dans le second cas,
forces électromotrices étant inégales, l'intensité du courant
ı être proportionnelle à la différence des forces électromo-
es des deux couples. Quant aux résistances que le courant
ı surmonter, elles sont les mêmes, de quelque manière que les
ples soient disposés, de sorte qu'on a $i = \frac{e - e'}{r + r'}$, $\frac{e}{r}$ et $\frac{e'}{r'}$ étant
intensités respectives des courants des deux couples qu'on
ose. Si l'opposition des deux couples annule le courant,
t-à-dire rend i égal à 0, on doit en conclure nécessairement
$e' = e$.

e même raisonnement s'applique aux couples en série qui
ituent les piles. Ainsi on a $I = \frac{ne - n'e'}{R + R'}$, n étant le nom-
des couples de la première pile, e la force électromotrice de
:un d'eux, et R la somme de leur résistance, n', e' et R' étant
raleurs correspondantes pour la seconde pile. Si I est nul,
$ne = n'e'$, et si en fait $e' = 1$, c'est-à-dire si l'on prend pour
é la force électromotrice du couple le plus faible, on a,
upposant également $n = 1$, $e = n'$, c'est-à-dire que la force
tromotrice du couple le plus fort est égal à n' fois la force
:romotrice qu'on a prise pour unité, n' étant le nombre
:ouples les plus faibles qui font équilibre au couple unique
us fort [1]. Le raisonnement que nous venons de faire est basé
le principe que nous avons démontré par l'expérience, sa-
, que la force électromotrice est proportionnelle dans un

l nous semble qu'il peut arriver souvent que n ne soit pas égal à 1, quoi-
lus petit que n' ; alors, quand on a trouvé le nombre des couples de chaque
: qu'il faut mettre en série, pour que leur opposition produise l'équilibre, on
$= n'$, d'où $e = \frac{n}{n}$.

circuit composé de plusieurs couples, au nombre de ces couples disposés en série. Il est également exact, que les courants ne circulent pas quand les forces électromotrices sont égales, ou qu'ils circulent simultanément, mais en sens contraire, de manière à s'annuler dans leur circuit commun, comme nous l'avons supposé dans le § 1 de ce chapitre; supposition du reste que l'analyse des phénomènes nous a fait abandonner pour admettre celle que nous venons d'énoncer la première.

Avant de parler des applications que M. J. Regnault a faites de sa méthode à la détermination de la force électromotrice de quelques combinaisons voltaïques, il est important de fixer un instant notre attention sur un point qui ne nous a pas encore occupés, c'est le choix d'une unité à laquelle on puisse rapporter ou comparer les diverses forces électromotrices. Cette unité doit être une force électromotrice. M. J. Regnault prend pour cette unité la force électromotrice d'un couple thermo-électrique bismuth et cuivre, pour une différence de 0° à 100° entre les soudures. Puis faisant usage d'une série thermo-électrique composée de 60 couples semblables, en ayant soin que les soudures du rang pair et du rang impair demeurent à des températures sensiblement fixes pendant la durée des expériences, il cherche combien il faut employer de ces couples pour faire équilibre à un couple dont il veut déterminer la force électromotrice. C'est ainsi qu'il trouve que le courant d'un couple zinc dans sulfate de zinc et cadmium dans sulfate de cadmium, est équilibré par le courant thermo-électrique de 55 couples bismuth et cuivre, dont les soudures présentent les différences de 0 à 100°. Mais ce couple étant l'un de ceux dont la force électromotrice est la plus faible, il faudrait multiplier pour les autres dans une proportion énorme le nombre des couples thermo-électriques. Aussi M. J. Regnault propose-t-il de prendre pour couple auxiliaire celui de zinc-cadmium, les deux métaux plongeant dans leurs sulfates respectifs, qui est doué d'une constance remarquable; c'est à lui qu'on compare les autres, en se rappelant que sa force électromotrice est égale à 55 fois celle qui est prise pour unité.

M. Wheatstone avait également déterminé par sa méthode

. qui existe entre la force électromotrice d'un couple lectrique, bismuth et cuivre, dont les soudures spectivement aux températures de 0° 100° et celle du nalgame de zinc, sulfate de cuivre et cuivre; et il avait ie tandis qu'il fallait pour ramener la déviation de avec le premier de 10° à 5° [1], seulement 8 tours de il en fallait 757 avec le second; ce qui établit entre orces électromotrices le rapport de 1 à 94, 6. M. Pouil- une méthode toute différente dont nous parlerons stant, avait trouvé le rapport de 1 à 94. M. J. Re- trouvé un rapport bien différent, savoir, celui de ce qu'il attribue à ce que, dans le couple de M. Wheats- : différence dans la nature du diaphragme poreux, lificile d'avoir identique, peut modifier considérable- force électromotrice, ainsi que le lui a démontré la son expérimentale qu'il a faite entre un couple Da- . le diaphragme était de porcelaine dégourdie et un heatstone à diaphragmes de natures diverses[2]. Du reste, ience de la nature du diaphragme poreux sur la force trice n'est plus sensible dans les piles à deux liquides, l'a encore constaté M. J. Regnault, avec deux couples , l'un zinc-cadmium avec sulfate de zinc et sulfate de ; l'autre de Daniell zinc-cuivre avec sulfate de zinc et : cuivre; il a toujours trouvé que la force électromo- premier était égale à 55 fois celle du couple thermo- :, prise pour unité, et celle du second à 175 fois té, quel que fût le diaphragme employé dans deux

rant thermo-électrique était trop faible pour faire dévier l'aiguille du re de 45° à 40° comme dans les expériences précédentes; il a fallu, paraison de ce courant avec celui du couple hydro-électrique, avoir déviation de 10° à 5° seulement.

rence des deux forces électromotrices était déduite de l'opposition des es; elle s'est trouvée de 3 unités en faveur du couple Daniell, quand uples avaient l'un et l'autre un diaphragme de porcelaine dégour- lle a été successivement de 26, de 44 et de 103 en faveur du couple , quand les diaphragmes de ce dernier ont été de terre de pipe, de et de hêtre.

des couples, porcelaine dégourdie, terre de pipe, baudruche et différentes espèces de bois.

Quant à l'unité choisie par M. J. Regnault, qui est la même que M. Pouillet avait également adoptée, elle me paraît présenter deux inconvénients : le premier de ne pas pouvoir être toujours retrouvée exactement la même [1]; l'autre d'être prise dans une force électromotrice d'une espèce trop différente quant à son intensité et à son origine, de celle des couples hydro-électriques. Il nous semble qu'il serait préférable d'adopter pour ces derniers une unité prise parmi les forces électromotrices des couples hydro-électriques, en choisissant l'un de ceux qui donnent le courant le plus constant. Au reste, M. J. Regnault l'a bien senti, car c'est finalement à la force électromotrice du couple zinc-cadmium, sulfate de zinc et sulfate de cadmium, qu'il a comparé celle de divers couples hydro-électriques.

M. J. Regnault a confirmé, pour le potassium et pour le zinc, en se servant de sa méthode, le fait signalé par M. Wheatstone, que la proportion du métal positif contenu dans l'amalgame liquide ne paraît point affecter la force électromotrice d'un couple voltaïque dont il fait partie. Ainsi il a trouvé la force électromotrice d'un couple amalgame de zinc-cuivre chargé avec sulfate de zinc et sulfate de cuivre, égale à 178 de ces unités, qu'il y eût $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{200}$ ou $\frac{1}{400}$ de zinc dissous dans le mercure. De même il a trouvé cette force égale à 416, qu'il y eût $\frac{1}{150}$ ou $\frac{1}{1800}$ de potassium dissous dans le mercure, avec un couple amalgame liquide de potassium et platine, chargé avec chlorure de sodium et chlorure de platine. Le résultat est, entre certaines limites, le même en ce qui concerne le degré de la dissolution dans laquelle plonge le métal positif. M. Regnault a trouvé que ce degré peut varier depuis 1 jusqu'à $\frac{11}{100}$, sans que la force électromotrice de la combinaison voltaïque en soit sensiblement troublée. Il ne faut pas perdre

[1] M. J. Regnault a reconnu cet inconvénient ; aussi s'est-il occupé de rechercher les moyens de donner aux courants produits par un plus ou un moins grand nombre de couples thermo-électriques consécutifs, toute la constance possible mais nous ne sommes pas convaincu qu'il y ait réussi.

ue, dans ce cas comme dans celui de l'amalgame de zinc, l ne s'agit pas ici de la quantité d'électricité produite dans emps donné, mais de la faculté de cette électricité de surter une certaine résistance.

. J. Regnauld, qui, comme M. Wheatstone, a appliqué sa hode à la détermination des forces électromotrices de lques combinaisons voltaïques, a trouvé en général dans etit nombre de cas qu'il a étudiés, que la force électrotrice ne change pas très-sensiblement dans un coude deux métaux qui plongent chacun dans une distion saline, avec la nature de cette dissolution, pourvu lle ait pour base le métal même qui y est immergé. Cependant il y a bien des exceptions à cette loi, qui ne semble être ablement exacte que lorsque les métaux qui forment le ple sont très-éloignés l'un de l'autre dans la série électrorice, tels que zinc et cuivre ou zinc et platine.

ous avons vu plus haut que M. Poggendorff avait proposé méthode en vue du cas des couples à force non constante, de pouvoir se mettre à l'abri de l'influence de la polarisa- du métal négatif, qui occasionne une altération si prompte s la force électromotrice de ces couples. Mais un grand bre de physiciens ont cherché à apprécier directement e influence en déterminant la force électromotrice des ples formés par des métaux polarisés, c'est-à-dire par des aux dont la surface est recouverte de ces dépôts minces qui impriment la polarité secondaire.

'heatstone, dans son travail sur les forces électromotrices, t fait une remarque importante à ce sujet, savoir que la e électromotrice, contraire à celle d'un circuit voltaïque, naît de l'interposition dans ce circuit d'un voltamètre à trodes de platine, chargé avec une dissolution d'acide sulfue, est constante, c'est-à-dire est la même, quelle que soit la e du courant. Pour obtenir ce résultat, Wheatstone a placé même voltamètre successivement dans quatre circuits comis de 3, de 4, de 5 et de 6 de ses couples, et il a déterminé s chacun la force électromotrice *sans* et *avec* le voltamètre; , retranchant le nombre de tours qui exprimait la seconde

de celui qui exprimait la première, il a obtenu une différence toujours la même, qui était l'expression de la force électromotrice contraire exercée par les électrodes du voltamètre. Voici le tableau des expériences :

	Sans voltamètre.	Avec voltamètre.	Différence ou force électromotrice du voltamètre.
3 couples.	90	21	69
4 couples.	120	50	70
5 couples.	150	79	71
6 couples.	180	109	71
		Moyenne. .	70

Ainsi, la force électromotrice due à la polarisation des électrodes de platine du voltamètre peut être regardée sensiblement comme constante et égale à 70, ce qui fait qu'elle est à celle d'un seul couple comme 70 est à 30, ou comme 7 est à 3, et ce qui établit entre ces deux forces le rapport de 2,33 à 1. Voilà pourquoi il faut au moins 3 couples, constituant une combinaison voltaïque d'une force électromotrice de 90, pour décomposer l'eau avec le voltamètre.

M. Svanberg, après avoir trouvé, avec une pile de Daniell, à peu près le même rapport, savoir, celui de 2,20, au lieu de 2,33, entre la force électromotrice des électrodes polarisés P et celle d'un couple E, s'est assuré qu'il n'y a de polarisation que sur la surface sur laquelle le gaz se dégage. Il opérait comme Wheatstone avec un rhéostat. Il a d'abord placé dans le circuit de trois couples de Daniell, à la place du voltamètre, un couple cuivre-platine, le cuivre plongeant dans une dissolution de sulfate de cuivre, et le platine dans une dissolution d'acide sulfurique, le dernier servant d'électrode positif. En supposant que lui seul soit polarisé, et en appelant p cette force de polarisation, et e la force électromotrice du couple même cuivre-platine qui agit en sens contraire de celle de la pile, E étant celle d'un des couples de Daniell, on a :

$$3\,E - e - p = 18{,}01$$

Si l'on introduit maintenant dans le circuit de quatre couples

ıniell le couple cuivre-platine, de façon que le cuivre électrode positif, et le platine le négatif recevant l'hydro- on trouve par expérience, en remarquant qu'ici la électromotrice du couple cuivre-platine doit être ajoutée, u d'être retranchée, et en appelant p' la force de polarisa- .u platine négatif :

$$4\,E + e - p' = 50{,}03$$

3 E=42,79 par expérience, d'où E=14,26, et par con- nt 4 E=57,05; ce qui donne :

$$\begin{aligned} p + e &= 24{,}78 \\ p' - e &= 7{,}02 \\ \hline \text{d'où } p + p' &= 31{,}80 \end{aligned}$$

$$\text{Et } \frac{p + p}{E} = 2{,}16$$

on avait trouvé $\frac{P}{E} = 2{,}20$; donc on a $p + p' = P$

résultat nous montre donc qu'il n'y a de polarisation que électrode où se dégage le gaz, que par conséquent dans nier cas il n'y en a pas sur le cuivre qui, servant d'élec- négatif dans le sulfate de cuivre, se recouvre simplement rre reviviflé, et qu'il n'y en a pas non plus dans le second le cuivre servant d'électrode positif dans l'acide sulfu- tendu, s'oxyde et se dissout. La lame de platine est donc le polarisée dans les deux cas; dans le premier, par ne qui lui donne une force de polarisation $p = 20{,}03$, s le second, par l'hydrogène qui lui en donne une ,77 [1].

vanberg a cherché à déterminer la force de polarisation drogène, quand il se dégage sur le cuivre, mais il a qu'elle était très-variable avec le degré de poli de la

ourrait être surpris de voir la force polarisante de l'oxygène supérieure l'hydrogène, contrairement à ce que Grove avait trouvé avec sa pile us il faut remarquer qu'ici l'oxygène provient de la décomposition de ju'il est ozoné.

surface du métal. Ainsi elle n'était que 1,96 quand la surface du cuivre était granuleuse, et de 12 quand cette surface était parfaitement polie, c'est-à-dire égale à la force polarisante de l'hydrogène sur une surface polie de platine.

MM. Lenz et Saweljev, dans un travail considérable sur la force électromotrice développée par la polarisation des lames des électrodes, ont généralisé le résultat de Svanberg, et ils sont parvenus aux lois suivantes : 1° la polarisation des lames qui servent d'électrodes n'a lieu qu'autant qu'il se dégage des gaz sur leur surface; 2° la polarisation qui résulte de la décomposition d'un liquide entre deux électrodes est la somme de la polarisation produite sur chaque électrode; 3° la polarisation et les forces électromotrices dans chaque auge du circuit où il y a décomposition, se somment, algébriquement parlant, c'est-à-dire chacune avec son signe dépendant du sens dans lequel elle agit; 4° on peut ordonner toutes les diverses combinaisons d'un métal avec un liquide, sous le rapport de leurs forces électromotrices, en une série dans laquelle chacune soit positive par rapport à celle qui la précède, et les forces électromotrices résultantes pouvant être exprimées par des nombres tels que ceux qui résulteraient de la réunion de deux combinaisons quelconques, sont représentées par la différence des deux nombres correspondants; 5° à la démonstration expérimentale de ces quatre lois sont joints deux tableaux dont l'un donne les valeurs des polarités secondaires de quelques métaux dans l'oxygène et l'hydrogène, et l'autre celui des forces électromotrices de différents métaux dans leur contact avec divers liquides, en éliminant l'élément contraire de la polarisation. Dans ces deux tableaux l'unité est tout à fait arbitraire, puisqu'elle dépend de l'instrument particulier qui a servi aux déterminations : mais comme il ne s'agit que de rapports, c'est sans inconvénient [1].

[1] L'unité du courant était celle qui déviait de 1° l'aiguille du galvanomètre, l'unité de résistance, celle de 1 tour de rhéostat; l'unité de force électromotrice, celle qui produisait avec la résistance 1, le courant 1.

PREMIER TABLEAU.

	Polarisation.	En unités du rhéostat.
ıns l'oxygène.	2,49	48,8
ıns le chlore.	0,00	00,0
lans l'oxygène.	1,33	26,0
'oxygène.	2,71	51,1
ıns l'hydrogène.	3,67	71,9
l'hydrogène.	0,90	17,6
ıns l'hydrogène.	2,30	45,0
ıs l'hydrogène.	1,55	30,4
l'hydrogène.	0,48	9,4
dans l'hydrogène.	4,37	85,6
ıns l'oxygène.	0,69	13,5

DEUXIÈME TABLEAU.

	Forces électro-motrices.	En unités du rhéostat.
ans l'acide chlorhydrique.	0,26	5,1
ans l'acide sulfurique.	0,02	0,4
ıns l'acide acétique.	0,00	0,0
dans l'acide azotique.	0,01	0,2
'acide azotique.	0,06	1,2
l'acide sulfurique.	0,25	4,9
lans l'acide sulfurique.	0,70	13,7
dans l'acétate de protoxyde de cuivre.	0,79	15,5
ıns une dissolution de potasse. . .	1,20	23,5
ır dans l'acide sulfurique.	1,39	27,2
ı peu oxydé dans l'acide sulfurique.	1,75	34,3
ıns le sulfate de cuivre.	2,00	39,2
ıne dissolution de potasse.	2,31	45,2
ıs l'acide chlorhydrique.	2,38	46,4
l'acide chlorhydrique.	2,75	53,9
dans la potasse.	2,84	55,
l'acide sulfurique.	2,92	57,2
ıs l'acide sulfurique.	2,95	57,8
ıns une dissolution de potasse. . .	8,10	60,7
ıs une dissolution de potasse. . . .	3,94	77,2
l'acide azotique étendu.	4,01	79,2
ı l'acide chlorhydrique étendu. . .	4,07	79,9
ı l'acide sulfurique.	4,17	81,9
une dissolution de potasse. . . .	4,65	91,1
ı une dissolution de potasse. . . .	5,48	107,4

La méthode employée par MM. Lenz et Saweljev consistait à avoir deux liquides séparés par un diaphragme poreux, dans chacun desquels plongeait une lame métallique servant d'électrode; un multiplicateur et un rhéostat, soit agomètre, comme l'appellent ces physiciens, étant avec la cellule à décomposition introduite dans le circuit d'une pile de Daniell. On amenait, au moyen du rhéostat, l'aiguille du galvanomètre d'abord à un certain degré de déviation, ensuite à un autre; puis on faisait la même opération, en ôtant simplement du circuit la cellule à décomposition; le tout répété plusieurs fois pour avoir des moyennes exactes; et de la comparaison des résultats on déduisait la force électromotrice contraire exercée par la cellule à décomposition, et par conséquent la polarisation de ses lames. C'est ainsi, comme nous allons le voir, qu'ont été dressés les tableaux ci-dessus.

Admettant que la polarisation est uniquement produite par le dégagement du gaz, pour déterminer la polarisation de chaque électrode en particulier, dans le cas de la décomposition de l'eau par des électrodes de platine, on commence par la déterminer dans le cas où les deux lames de platine plongent dans de l'acide nitrique, parce qu'il n'y a alors aucun dégagement d'hydrogène à l'électrode négatif; on a la valeur de la polarisation due à l'oxygène qu'on trouve égale à 2,48, puis faisant la même opération en plongeant les lames de platine dans l'acide sulfurique étendu, on a une polarisation égale à 5,46 qui est la somme des polarisations dues respectivement à l'oxygène et à l'hydrogène, puisqu'il y a dégagement de gaz sur les deux électrodes. Pour avoir la dernière, celle due à l'hydrogène, il n'y a qu'à retrancher 2,65 de 5,46; ce qui donne 3 pour sa valeur. Mais cette valeur change avec les métaux sur lesquels se dépose l'hydrogène. Ainsi, avec le zinc amalgamé elle est seulement 1,00, avec le cuivre 2,15, avec l'étain 1,45, avec le fer 0,33, etc. Ces nombres diffèrent un peu de ceux du tableau qui sont plus exacts, vu qu'ils ont été obtenus à la suite d'expériences plus nombreuses et plus variées.

Quant au tableau des forces électromotrices des métaux dans divers liquides sans qu'il y ait polarisation, il a été également

soit au moyen d'observations directes, soit en retran-
les observations où la polarisation intervenait, l'effet dû
polarisation, qui avait été déterminé directement.

eetz, qui s'est aussi occupé de la force électromotrice des
fait usage d'une méthode toute différente et beaucoup
recte que celle de MM. Lenz et Saweljev; il a tout sim-
t appliqué le procédé de compensation de Poggendorff
e à gaz de Grove, en la chargeant successivement avec
s substances gazeuses, et en faisant usage d'un couple
ıtine de Grove pour établir la compensation. Il a pris
up de précaution dans la préparation des platines de la
;az et de cette pile en général, dans laquelle il avait soin
troduire que des gaz bien purs, après avoir chassé tout
la dissolution d'acide sulfurique dont étaient pleins les
ui devaient recevoir les substances gazeuses. Voici le ta-
es forces électromotrices développées en associant avec
gène qui était toujours dans l'un des tubes, les diverses
ıces dont les noms suivent et parmi lesquelles M. Beetz en
luit deux solides, savoir le platine sans gaz en contact
at avec le liquide et du platine recouvert de cuivre; il
z remarquable que l'ordre dans lequel sont rangées les
ı substances, quant à leur force électromotrice, soit exac-
le même que celui que Grove avait trouvé.

oms des substances.	Forces électromotrices.
Chlore	31,49
Brome	27,97
Oxygène	23,98
Oxyde d'azote	21,33
Cyanogène	21,16
Acide carbonique	20,97
Oxyde d'azote	20,52
Fer	20,30
Platine	20,13
Sulfure de carbone	19,60
Gaz oléfiant	18,36
Phosphore	16,06
Oxyde de carbone	13,02
Cuivre	3,82
Hydrogène sulfuré	3,08
Hydrogène	0,00

Les expériences de Beetz ont montré que, conformément à l'opinion de M. Grove, l'oxygène contribue d'une manière directe au développement du courant dans la pile oxygène-hydrogène, puisque lorsque l'hydrogène est associé à l'oxygène, la force électromotrice est de 23,98, tandis qu'elle n'est plus que de 20,13 lorsqu'il est réuni au platine; ce qui donne 3,85 pour la force électromotrice du platine recouvert d'oxygène. Ce n'est point un effet dû à l'action dépolarisante de l'oxygène, puisque le circuit ne reste fermé qu'un instant. C'est à la première cause qu'il faut attribuer le fait également observé par M. Beetz, et signalé déjà, comme nous l'avons vu, par M. Poggendorff, que les lames de platine, pourvu qu'elles soient bien nettoyées, donnent autant d'effet que lorsqu'elles sont platinées, ce qui tient à ce qu'elles n'ont pas le temps de se polariser; or c'est leur faculté de se polariser beaucoup plus fortement que les lames platinées, qui leur donne une grande infériorité quand le circuit reste longtemps fermé.

L'influence qu'exerce en général sur les phénomènes de cet ordre la nature de la substance solide sur la surface de laquelle se trouve la couche gazeuse, provient de ce que jamais cette surface n'est entièrement recouverte par le gaz, et qu'il y a toujours quelques points de contact entre elle et le liquide. Si les lames immergées pouvaient être entièrement isolées du liquide par les gaz dont elles sont enveloppées, la nature chimique des masses métalliques serait tout à fait indifférente. Quand les lames sont recouvertes de gaz au moyen de la décomposition électrolytique, elles le sont d'une manière beaucoup plus complète que par tout autre moyen; mais elles ne le sont jamais assez complétement, même quand on leur a donné le maximum de polarisation, pour que la nature du métal ne joue aucun rôle. Toutefois le pouvoir électromoteur développé par ce moyen au lieu d'être de 24, comme M. Beetz l'a trouvé au moyen d'oxygène et d'hydrogène introduits dans les tubes, est, suivant M. Poggendorff, de 55 quand les lames de platine ont leur éclat métallique et de 40 quand elles sont platinées. Tout en reconnaissant que l'oxygène et l'hydrogène qui arrivent sur la surface du platine par voie électrolytique, y forment

dépôts beaucoup plus continus, nous croyons que cette me différence tient surtout à ce que l'oxygène, lorsqu'il produit de cette manière, est ozoné, circonstance qui nente considérablement sa force électromotrice, ainsi que l'avons vu.

est un point sur lequel M. Beetz ne s'accorde pas avec Lenz et Saweljev, c'est ce qui concerne la force électromo- du chlore, que ces physiciens avaient trouvé être nulle, ui tient probablement à ce que le platine, dans leurs expé- es, était attaqué par le chlore et formait un chlorure qui solvait. M. Beetz, dans de nombreuses et laborieuses re- hes que nous regrettons de ne pouvoir rapporter ici un lus en détail, a constamment trouvé, soit en opérant di- nent sur du chlore gazeux, soit en déposant le chlore sur tine par la décomposition électrolytique des chlorures ou cide hydrochlorique, les nombres bien rapprochés, 10,27 ,0, pour la force de polarisation du *platine-chlore;* il a ment trouvé pour celle du *platine-hydrogène* 19,08, qui, e à la première, fait environ 30, nombre un peu infé- seulement à celui que fournit l'observation directe faite la pile à gaz hydrogène et chlore. En décomposant des es et des bromures, M. Beetz a pu déterminer également ce électromotrice de l'iode et du brome qu'il a trouvée la première de 3,36, la seconde de 6,96, celle du chlore 10,10.

résulte évidemment de l'analyse que nous venons de les travaux relatifs à la force électromotrice des gaz, que terminations numériques laissent encore quelque incer- , vu l'influence qu'exercent sur la force du courant ture de la substance solide qui établit le contact entre z et le liquide, et la manière dont le dépôt a été opéré. point sur lequel les physiciens ne sont pas d'accord, c'est port qui existe entre les polarités secondaires acquises par mes qui ont servi d'électrodes à un courant dans un e électrolytique, et l'intensité de ce courant. Nous avons e, d'après Wheatstone, l'énergie des polarités secondaires constante et indépendante de l'intensité du courant.

M. Poggendorff est arrivé à un résultat différent, et il a trouvé que cette énergie croît avec l'intensité du courant, et d'une manière d'autant plus sensible que celui-ci a une force absolue moindre. Il opère avec une pile de deux couples de Grove dont il détermine la puissance électromotrice d'abord quand elle est seule, ensuite quand on y a introduit un voltamètre, soit un couple inactif de deux lames de platine plongées dans l'acide sulfurique étendu. Puis faisant varier la longueur du fil d'un rhéostat placé dans le circuit, il voit quelles sont les variations correspondantes qu'éprouve la force électromotrice du nouveau circuit, qui est égale à la différence entre la force électromotrice primitive des deux couples de Grove et celle contraire qui résulte des polarités secondaires acquises par les deux lames de platine. Or, si cette dernière est constante, la première l'étant évidemment, leur différence devra l'être aussi, ce qui n'est pas, ainsi que le prouve le tableau suivant dans lequel l exprime la longueur du fil du rhéostat, i l'intensité du courant mesuré par le galvanomètre à sinus, E′ la force électromotrice du circuit, et p la force électromotrice provenant des polarités secondaires acquises par les lames. On obtient p en retranchant E′ de E force électromotrice du circuit avant l'introduction du couple inactif de platine, qu'on a trouvée égale à 46,85 en commençant les expériences, et à 46,53 en finissant, ce qui prouve la constance de la pile. Quant à la résistance totale du circuit, y compris le fil du galvanomètre à sinus, elle était de 8,78 avant l'introduction du couple inactif, et de 12,79 une fois le couple introduit.

l	i	E′[1]	p
6	80,15	18,51	28,18
8	62,58		
10	54,17	18,50	28,19
20	34,56	18,77	27,92
40	21,17	19,16	27,53
80	12,14	19,66	27,03

[1] La première valeur de E′ a été déduite des deux intensités 80,15 et 62,58, au moyen de la méthode de Ohm, ce qui était permis, vu le petit intervalle de temps qui s'était écoulé entre les deux expériences consécutives.

l	i	E	p
160	6,42	20,16	26,53
340,87	3,27	21,28	25,41
80	12,80	19,50	27,19
40	21,11	19,08	27,61
20	34,12	18,43	28,26
10	53,39	18,36	28,33
8	61,27	18,26	28,43
6	76,41	18,28	28,41

ıarquons cependant que les différences observées par ggendorff, entre les valeurs diverses de p, ne sont pas bien es, et peuvent tenir à l'inconstance que présente toujours u moins la polarité secondaire de l'électrode positif, à le la présence à cet électrode d'une proportion plus ou grande d'oxygène ozoné.

Poggendorff a appliqué la détermination des polarités laires à l'évaluation de la résistance totale qu'exerce sur ırant, le courant produit par un couple plus faible placé e circuit du plus fort, mais en sens contraire. Il a rouvé qu'un simple couple zinc-platine ou zinc-cuivre, ıne dissolution d'acide sulfurique, interposé de cette re dans le circuit d'une pile de trois couples de Grove, on que l'hydrogène se déposât sur le zinc et l'oxygène platine ou le cuivre, exerçait une force de résistance ait exactement la somme de sa force électromotrice pro- de celle provenant des polarités secondaires des deux

ɔrincipe permet ainsi d'évaluer les forces électromotrices uples à force non constante, une fois qu'on connaît les électromotrices développées par les polarités secon- , qu'il faut, dans ce cas, retrancher de celles que l'expé- fournit, pour avoir la force électromotrice des couples èmes, avant que leurs lames aient été polarisées. C'est moyen que MM. Lenz et Saweljev avaient dressé le se- ableau que nous avons rapporté plus haut, et qui con- s forces électromotrices des métaux plongés dans divers s. M. Poggendorff remarque du reste avec raison, que a détermination des forces électromotrices des couples à

force non constante, sa méthode de compensation a l'avantage d'être bien plus directe et plus exacte.

Cette méthode de Poggendorff, que nous n'avons fait que signaler et que nous avons développée dans la note F, a permis à son auteur d'éclaircir bien des points encore obscurs relatifs à l'influence de certaines causes sur la force électromotrice. Ainsi on avait observé que, quand la résistance n'est pas très-grande, le courant d'un couple zinc et fer plongeant dans un acide étendu l'emporte sur celui d'un couple zinc et cuivre placé dans les mêmes circonstances, quoique le fer soit plus positif que le cuivre, et puisse former avec lui un couple où il est le métal positif. Ce résultat tient évidemment à l'effet de la polarité secondaire, qui est plus considérable sur le cuivre que sur le fer. Pour le prouver, il suffit d'employer la méthode des compensations de Poggendorff, qui ne permet pas au courant de s'établir, et qui fait qu'on évite ainsi les polarités secondaires; on se sert, pour obtenir la compensation, d'un couple de Grove dont la force électromotrice est de 22,882 et la résistance propre de 5,47 unités de longueur d'un fil d'argentane, et on obtient les nombres suivants pour les forces électromotrices E des couples dont la résistance r a été déterminée dans chaque cas, et qui plongeaient dans un mélange de 1 partie d'acide sulfurique et 16 parties d'eau[1].

Couples.	r	E
Zinc amalgamé, cuivre. . . .	52,68	13,792
Zinc amalgamé, fer.	16,59	7,399
Fer, cuivre.	12,34	6,000

Ainsi on voit que toutes les fois qu'on ne permet pas au courant d'entrer en activité, ce qui est le cas dans la méthode de compensation, la force électromotrice du couple zinc-cuivre est plus grande que celle du couple zinc-fer. On retrouve également pour les couples à force non constante, la loi déjà signalée par M. Wheatstone, savoir que si on a deux couples, la

[1] L'unité à laquelle E est rapporté est tout à fait arbitraire; elle dépend du couple qui sert à établir la compensation, mais sa valeur absolue n'a aucune importance pour l'objet que nous avons en vue.

: électromotrice d'un troisième formé des deux métaux
ɛmes des deux premiers, est équivalente à la somme des
ɛs électromotrices des deux couples formés des métaux
écutifs [1]. En effet, en ajoutant 7,399 et 6,000 dans le ta-
ɑ ci-dessus, on trouve 13,399, nombre bien rapproché
3,792.

ɔrès cet examen détaillé des différentes méthodes employées,
mpagné de quelques-uns des résultats obtenus, nous de-
ɑs indiquer les forces électromotrices des diverses combi-
ɔns voltaïques ; mais parmi les déterminations qu'on a
ɔ, nous nous bornerons à citer celles qui nous paraissent
ɑeilleures et les plus importantes.

ɔggendorff a eu l'idée de remplacer dans les piles de
ɾe et de Bunzen l'acide nitrique par l'acide chromique qui
ɛrme aussi beaucoup d'oxygène et qui l'abandonne facile-
t. La dissolution dont il a fait usage se compose d'un
.nge de 3 parties en poids de chromate acide de potasse,
ɑcide sulfurique concentré et 18 d'eau. Il a plongé succes-
nent dans ce liquide un charbon de Bunzen, du platine et
uivre, l'autre élément du couple étant du zinc amalgamé
dans un mélange de 9 parties en poids d'eau et de 1 d'acide
ɑrique concentré ; un vase d'argile poreuse séparait les
. liquides. Voici le résultat de trois expériences com-
tives.

		Résistance du couple.	Force électromotrice.
ɑuple Bunzen.	Acide nitrique. . .	6,30	21,06
	Acide chromique .	12,28	21,61
ɑuple Grove.	Acide nitrique. . .	5,04	21,29
	Acide chromique. .	8,30	13,42
ɑuple Daniell.	Sulfate de cuivre. .	14,72	13,63
	Acide chromique. .	6,34	13,20

ɑ voit qu'avec le platine la force dans le couple où est l'acide
mique n'est guère que les deux tiers de ce qu'elle est avec
le nitrique même peu concentré, car l'acide nitrique dont
ɑisait usage était de 1,30 de densité. Avec le charbon la

[1] Tome II, page 731.

force électromotrice est la même avec les deux acides, mais outre qu'elle n'est pas très-constante avec l'acide chromique, la résistance du couple avec cet acide est presque deux fois aussi grande qu'avec l'acide nitrique. Il n'y a donc pas d'avantage à remplacer l'acide nitrique par l'acide chromique, quoiqu'on évite ainsi les vapeurs nitreuses.

Voici, du reste, quelques déterminations de forces électromotrices faites avec soin pour les couples les plus usuels; nous ne donnons pour chacun que les moyennes de plusieurs expériences. Les forces électromotrices ont été calculées au moyen des formules $i = \frac{E}{R}$ et $i' = \frac{E}{R+l}$, qui donnent $E = i i' \frac{l}{i - i'}$, i et i' étant déterminés par le galvanomètre à tangente qui était mis dans le circuit; la longueur l du fil additionnel a varié de 0 à 69 mètres.

	E
Couple de Grove.	829
Couple de Bunsen (Delœuil).	839
Couple de Bunsen (Stohrer).	777
Couple de Daniell	470
Couple de Smee.	210
Couple de Wollaston.	208

On a également déterminé R pour chaque couple en éliminant E, mais cet élément était très-variable. Cependant il est à remarquer qu'il est beaucoup moindre pour les piles à un seul liquide où il n'y a pas de diaphragme poreux.

Voici encore une détermination faite par M. Jacobi, d'après une méthode fondée sur le principe des courants dérivés et dans laquelle on ramène, comme dans la méthode de Wheatstone, l'aiguille au même degré de déviation dans chaque cas. Il a trouvé par quatre observations parfaitement concordantes que si la force électromotrice d'un couple Daniell est exprimée par 21,042, celle d'un couple de Grove l'est par 35,201, rapport qui n'est pas très-éloigné de celui qu'on peut tirer du tableau qui précède.

M. Joule a déterminé la force électromotrice d'un très-grand nombre de combinaisons voltaïques par le procédé de Fechner,

-dire en introduisant dans le circuit un galvanomètre
ı résistance soit assez grande, 300 fois au moins celle de
ı couple, pour que cette dernière disparaisse vis-à-vis de
nière, de sorte qu'on puisse regarder la force électromo-
omme proportionnelle à l'intensité du courant. Voici
es-uns des résultats :

— Acide nitrique.	— Potasse dissoute.	— Amalgame de potassium.	302
«	«	— Amalgame de zinc. . .	234
«	«	— Fer	169
«	«	— Cuivre.	120
«	«	— Argent.	60
«	«	— Platine.	31
«	— Solution de sel ordinaire. . . .	— Amalgame de zinc. . .	198
«	«	— Fer.	146
«	«	— Cuivre.	116
«	«	— Argent.	85
«	«	— Platine.	55
«	— Acide sulfurique étendu. . . .	— Amalgame de zinc. . .	187
«	«	— Fer.	140
«	«	— Cuivre.	91
«	«	— Argent.	53
«	«	— Platine.	27
— Peroxyde de plomb avec acid. sulf.	— Potasse dissoute.	— Amalgame de zinc. . .	277
«	«	— Fer.	177

'oule croit qu'on peut conclure du tableau des forces motrices qu'il a déterminées, et, dont nous n'avons rap-
ue quelques-unes, que la différence entre les forces motrices de deux métaux positifs plongés dans une solu-
mblable est une quantité constante, quels que soient ngements qu'on fasse subir aux éléments négatifs des).

me on le voit, le nombre des combinaisons voltaïques ı a déterminé la force électromotrice est déjà assez con-
le ; malheureusement ces déterminations ne sont pas l'après les mêmes méthodes, ni sur le même plan ; néan-
elles sont suffisantes au point de vue pratique, et même,

elles peuvent aussi fournir, comme nous le verrons
dernier paragraphe, quelques données précieuses s
ports qui existent entre les forces chimiques et les f
triques. Un point essentiel sous le rapport théoriq
permettent déjà d'établir, c'est la proportionnalit
ment exacte qui existe entre la force électromotrice
l'intensité du courant et celle conclue de l'énergie d
statique, quand le circuit est ouvert au lieu d'être f
proportionnalité est une conséquence naturelle du p
nous avons établi, en nous fondant sur l'expérien
que lorsqu'on charge le condensateur au moyen d'
on a une décharge qui est un véritable courant élé
Dès lors la force électromotrice de cet élément de c
être la même que celle du courant lui-même, quell
la durée de ce dernier. C'est M. Kohlrausch qui, pa
riences exactes dont nous allons donner les détail
cette loi importante.

M. Kohlrausch faisait usage d'un électroscope d
muni d'un condensateur. L'électroscope de Delln
qu'une sorte de balance de torsion, dont la constru
délicate permet la mesure des forces les plus petite
densateur employé par M. Kohlrausch était disposé
nière particulière, afin d'écarter les diverses caus
que comporte trop souvent l'usage de cet instrum
formé de deux plaques de laiton, d'environ 15
de diamètre sur trois millimètres d'épaisseur, suspe
cune par 3 cordons de soie; les cordons qui sou
plaque supérieure, longs de 25 à 30 centimètres, s'
à une pièce mobile qui permettait d'éloigner ou
cher à volonté les deux plaques l'une de l'autr
que inférieure était recouverte d'une couche très
vernis à la gomme-laque, et présentait en trois poi
de ses bords trois petites colonnes de gomme-laque
supérieure posait sur ces colonnes lorsqu'on voulait
périence, et n'était vernie qu'aux trois points corre

[1] Tome II, page 615.

suite de cet arrangement, la distance des plaques et la
condensante demeuraient constantes pendant toute la
e des expériences; le mode de suspension faisait dispa-
les perturbations si fréquentes que produit l'électricité
init toujours par s'accumuler sur les supports en verre
condensateurs ordinaires. Le plateau inférieur jouait le
du plateau condensateur, et communiquait en général
le sol; le plateau supérieur jouait le rôle du plateau col-
ar, et pour le faire communiquer avec l'électroscope, il
ait de le soulever jusqu'à lui faire toucher un fil F qui
ndait à l'électroscope; la hauteur de ce fil était maintenue
ante pendant toute la durée des expériences.
ur charger cet appareil, on procédait de la manière sui-
:
On soulevait le plateau supérieur jusqu'au fil F, et, tou-
t le fil F avec un autre fil qui communiquait au sol, on
argeait à la fois le condensateur et l'électroscope.
On supprimait la communication du plateau inférieur
le sol.
On descendait le plateau supérieur sur le plateau infé-
r, et, en même temps, on réglait l'électroscope.
Par le mouvement d'un mécanisme qu'il est inutile de
ire, on mettait les deux plateaux en rapport avec les deux
s du couple voltaïque étudié.
On supprimait les communications établies entre les
aux et les pôles du couple voltaïque, et l'on rétablissait la
nunication du plateau inférieur avec le sol.
On soulevait le plateau jusqu'au contact du fil F, et l'on
rait la charge de l'électroscope.
ns toute cette suite d'opérations, on avait grand soin de
mais toucher les pièces métalliques des appareils avec
igts, dont l'humidité aurait pu causer une action élec-
trice.
s forces électromotrices étaient déterminées par la mé-
de Wheatstone, fondée sur l'usage du galvanomètre et
héostat. On répétait cette mesure quatre ou cinq fois avant
lication du condensateur, et quatre ou cinq fois après. Les

différences des observa s idividuelles n'excédaient p général $\frac{1}{75}$ de la valeur m nne. Le condensateur tai même appliqué deux chaque pôle, et l'on pre moyenne des quatre te ons ainsi déterminées comme à la véritable tension du c ple. On observait, dans c cas, l'impulsion initiale c muniquée à l'aiguille de troscope de Dellmann, et la torsion nécessaire pour mai cette aiguille à 36 degrés de la ligne fixe; l'impulsion i ou la racine carrée de la torsion pouvait également se mesure à la tension électrique.

Le tableau suivant contient le résultat des expérienc désigne la force électromotrice, T la tension mesurée p pulsion initiale, T' la tension mesurée par la racine ca la torsion. Afin de rendre plus facile la comparaison sultats, on a multiplié les valeurs observées de T et T' facteurs tels que la force électromotrice du premier voltaïque inscrit dans le tableau, fût exprimée exacten le même nombre que les deux valeurs correspondantes de T'.

NATURE DU COUPLE.		T	
Zinc, sulfate de zinc, acide nitrique de 1,357 de densité, platine. . .	28,22	28,22	
Zinc, sulfate de zinc, acide nitrique de 1,213 de densité, platine. . .	28,43	27,77	
Zinc, sulfate de zinc, acide nitrique de 1,213 de densité, charbon. . .	26,29	26,15	
Zinc, sulfate de zinc, sulfate de cuivre, cuivre (couple de Daniell). . .	18,81	18,88	
Argent, cyanure de potassium, sel marin, sulfate de cuivre, cuivre. .	14,08	14,27	
Le même couple au bout de quelque temps.	13,67	13,94	
Le même couple au bout d'un temps plus long.	12,35	12,36	

Il faut remarquer que l'exactitude rigoureuse avec l la force électromotrice, mesurée par l'intensité du cour proportionnelle à celle déduite de l'énergie de la tension

ne les couples sont des couples à deux liquides ; car au-
si, la tension évaluée après la circulation du courant, ne
plus la même que celle qu'on observe avant cette cir-
on, à cause de la polarité secondaire qu'aurait acquise
nt négatif du couple.

ès nous être occupé de tout ce qui concerne la force élec-
trice d'un seul couple, et avoir indiqué les moyens de
rer, sous ce rapport, les divers couples les uns aux autres,
reste à indiquer les lois qui lient la force électromo-
l'une réunion de plusieurs couples en série constituant
le, avec celle des couples qui la composent. Nous avons
que Wheatstone avait établi, par une expérience, la loi
mple que, lorsque les couples sont semblables, la force
motrice de la pile est pour une pile de n couples ne, e
a force électromotrice d'un couple, et la résistance nr,
la résistance d'un couple, tellement que $I=\frac{ne}{nr}=\frac{e}{r}=i$,
l'intensité du courant de la pile, et i celle d'un de ses
s. Mais ce résultat ne se vérifie, qu'autant qu'on introduit
a pile chaque couple avec sa résistance. Ainsi, si après
pris l'intensité du courant d'un couple avec le galvano-
à sinus, on prend celle du courant d'une pile de n cou-
n se bornant à introduire dans son circuit le même gal-
ètre à sinus, on trouvera une intensité beaucoup plus
le. Pour trouver la même, il faut que chacun des couples
ar leur réunion, composent la pile, entrent dans sa for-
n avec une résistance égale à celle qu'offrait leur circuit,
l le galvanomètre à sinus en faisait partie. Alors, l'inten-
courant de n couples en série est égale à celle d'un
En effet, on a pour un seul couple $i=\frac{e}{r+l}$, l étant la rési-
du galvanomètre, et pour n couples on a : $I=\frac{ne}{nr+l}$, si
met que le même galvanomètre dans le circuit des n
s, tandis que si on met chaque couple en y ajoutant la
ce l, on a : $I=\frac{ne}{nr+nl}=i$.

Ce principe important, que chaque couple entre dans la formation d'une pile avec sa force électromotrice et sa résistance, les autres couples ne devant être considérés, par rapport à lui, que comme de simples conducteurs, a été démontré expérimentalement par Fechner et par Pouillet. M. Pouillet, comme nous l'avons déjà vu, avait d'abord exprimé la résistance d'un couple par la longueur d'un fil de cuivre, présentant une résistance équivalente, et qu'il appelait *longueur réduite*; il avait trouvé ensuite, en allongeant ce fil, que, conformément aux lois qui régissent l'intensité d'un courant, cette intensité mesurée par le galvanomètre à tangente, était en raison inverse de la longueur du circuit. Puis, après avoir déterminé l'intensité individuelle, c'est-à-dire la force électromotrice, et la résistance propre d'un certain nombre de couples, il les avait réunis en série, et ayant mesuré l'intensité du courant produit par cette pile, il avait trouvé le résultat de l'expérience parfaitement d'accord avec celui du calcul.

Ainsi généralement, on peut exprimer l'intensité du courant d'une pile composée de couples différents par la formule :

$$I = \frac{e + e' + e'' + e''' \ldots}{r + r' + r'' + r''' \ldots}$$

Puisque pour le couple dont la force électromotrice est e, l'intensité de son courant, une fois qu'il fait partie de la pile, est $i = \frac{e}{r + r' + r'' + r'''}$; pour le couple e', l'intensité est $i' = \frac{e'}{r + r' + r'' + r'''}$, et ainsi de suite pour les autres.

Poggendorff a vérifié l'exactitude de cette loi pour le cas de deux couples, l'un de Grove, l'autre de Daniell, réunis en série, dont il avait déterminé la force électromotrice et la résistance individuelle.

		Force électromotrice.	Résistance.
Couple de Grove.		25,79	5,08
Couple de Daniell.		15,87	13,73
Pile formée par les deux couples en série.	Calcul.	41,66	18,81
	Expérience.	41,62	18,91

ns le cas où deux ou plusieurs couples étant en série, l'eux est disposé de façon que son courant doive cheminer ns contraire de celui des autres, il faut affecter sa force omotrice du signe —, dans l'expression générale de l'in-é; mais il n'y a rien à changer au dénominateur, les ances n'éprouvant, par cette inversion, aucune modifica-Toutefois, ce résultat théorique ne se vérifie exactement expérience que dans le cas particulier où l'intensité du nt est égale à 0, parce qu'il y a égalité entre les forces omotrices qui agissent dans un sens, et celles qui agissent ns contraire. Dans les autres cas, par exemple, quand on e un couple de Grove à un couple de Daniell, le courant is fort, celui du couple de Grove, agit sur le couple du ible, celui de Daniell, et le modifie en oxydant son cuivre opérant une réduction sur son zinc, de manière à dimi-a force électromotrice. Le courant définitif, qui résulte de érence des deux autres, se trouve ainsi être plus fort que dique la théorie, et il y va en augmentant à mesure que rience dure, quand même les couples séparés donnaient ivant un courant à force constante [1].

n'est donc que dans le cas où les deux forces électromo- opposées sont égales, que l'intensité du courant est, mément à la théorie, complétement nulle, quelles que , du reste, les résistances. Ainsi, si l'on oppose l'un à deux couples semblables, Grove, Daniell, Smee, n'im-leur nature, dans l'un desquels les métaux aient une rande surface, tandis que l'autre en a une très-petite, on courant nul, quoique chacun de ces couples puisse séparé-

[1] ésulte bien évidemment de là que quand deux couples sont opposés l'un n, il n'y a pas transmission dans le circuit de deux courants contraires, ion d'un seul qui est produit par la différence entre la force avec laquelle n couples polarise les différentes parties successives du circuit, et celle quelle l'autre couple exerce la même polarisation. Si ces deux forces sont les différentes parties du circuit ne sont pas polarisées, et il n'y a pas de l du tout. Si les choses se passaient autrement, le courant du couple le ble, en traversant le plus fort, devrait l'affaiblir comme lui-même est af-ar le courant du plus fort.

ment produire des effets très-différents. En effet, si nous appelons r la résistance de celui à grande surface, celle du couple à petite surface bien plus grande d'après la loi des sections sera R; mais les forces électromotrices, qui ne dépendent que de la nature des éléments solides et liquides lesquels sont les mêmes dans les deux couples, sont également e pour l'un et pour l'autre, de sorte que, lors même qu'on aura pour le premier $i = \frac{e}{r}$ bien plus grand que $i' = \frac{e}{R}$ du second, on aura pourtant $I = \frac{e - e}{r + R} = o$ quand on les réunira en les opposant l'un à l'autre.

Il résulte de là que, si dans une pile composée d'un certain nombre de couples en série parfaitement semblables les uns aux autres, on augmente les dimensions de l'un ou de plusieurs d'entre eux, sans rien changer à leur nature, on ne modifie en rien la force électromotrice de la pile qui est toujours la somme des forces électromotrices individuelles de chaque couple: mais on augmente la force du courant ou la quantité d'électricité qui passe dans un temps donné, parce qu'on diminue la résistance totale du circuit en diminuant celles des couples dont on a augmenté les dimensions. C'est ce qu'on peut vérifier avec la pile de la fig. 310 [1], dans laquelle on recueille l'hydrogène qui se dégage à l'élément négatif de chacun de ses couples. Lorsqu'on augmente la surface de l'un des couples, on a plus d'hydrogène dégagé aux platines, mais toujours la même quantité sur chacun d'eux d'après la loi des équivalents; le travail chimique devient seulement plus fort sur le plus petit zinc, qu'il ne l'était, lorsque les deux zincs étaient égaux. L'inverse a lieu quand, au lieu d'augmenter, on diminue les dimensions du second couple.

M. Daniell, qui a fait un grand nombre d'expériences sur des piles composées d'un plus ou moins grand nombre de couples, en mesurant les volumes des gaz dégagés, expériences dont les résultats ont été parfaitement d'accord avec ceux qu'

[1] Tome II, page 630.

théorie indique, a remarqué que, lorsqu'on se borne à mo-
er la dimension du zinc amalgamé dans un couple, sans ap-
ter aucun autre changement à ce couple, on n'altère pas
siblement l'intensité du courant, parce qu'on ne change
rien la résistance du couple qui dépend essentiellement
dimensions du conducteur liquide et de celles du métal
atif.

Nous avons déjà vu que le nombre plus ou moins considé-
le de couples, dont on compose une pile, ne sert qu'à donner
ne même combinaison voltaïque une force électromotrice
s ou moins grande; en effet, il résulte de tout ce qui précède
le nombre des couples, dont il faut composer une pile pour
nir une force électromotrice donnée, est inverse de la force
tromotrice de la combinaison voltaïque employée. Mais, le
cuit une fois fermé, la quantité d'électricité qui y circule est
même que celle qui est produite par un seul couple de ce
me circuit et est mesurée par l'action chimique qui a lieu
ns ce couple, c'est-à-dire, par la consommation du métal po-
if qui, dans le circuit tout entier, est dans un rapport direct
ec le nombre des couples, et par conséquent, inverse de la
ce électromotrice. Il y aurait donc une grande économie à
ouver des combinaisons voltaïques dont les forces électro-
otrices et les résistances fussent telles, qu'un seul couple
du moins un petit nombre, produisissent le même effet que
ucoup. Telle serait, par exemple, la combinaison amalgame
potassium acide sulfurique étendu et peroxyde de plomb
ni, d'après Wheatstone, a la même force électromotrice qu'une
ie de cinq couples : amalgame de zinc, acide sulfurique
ndu et cuivre. Mais cette combinaison, ainsi que d'autres du
me genre, est dispendieuse, de sorte qu'on préfère se servir
celles où l'on emploie le zinc, lors même qu'il faut multiplier
nombre des couples. Toutefois, dans ce cas, une question im-
tante se présente, c'est de savoir, étant données deux surfaces
alliques, zinc amalgamé et platine, en combien de couples
doit les diviser pour construire une pile qui produise, avec
e résistance donnée, le maximum d'effet; qui, par exemple,
compose le maximum d'eau dans un voltamètre donné ou

produise le maximum de chaleur dans un fil d'une résistance donnée. La quantité d'action chimique reste constante, puisque la surface métallique totale qui est attaquée ne change pas; seulement, moins il y aura de couples plus il y aura d'effet utile. M. Poggendorff a résolu cette question d'une manière très-simple. Appelant l la résistance extérieure qu'il s'agit de surmonter, il remarque qu'on a toujours pour un couple $i = \frac{e}{r+l}$ et pour n couples semblables $I = \frac{ne}{nr+l}$. Or si on cherche quelle valeur doit avoir n pour que I soit un maximum, on trouve qu'il faut qu'elle soit telle que $l = nr$; c'est-à-dire que l'intensité du courant est à son maximum quand la résistance totale intérieure de la pile nr, est égale à celle qu'il faut que le courant surmonte extérieurement[1]. De là, on tire n en déterminant, au moyen du rhéostat r et l. Il en résulte que la valeur maximum de I, est $I = \frac{e}{2r}$, par conséquent, que le maximum d'effet utile extérieur qu'une pile voltaïque puisse produire, est la moitié du maximum d'intensité que son courant ou celui de l'un de ses couples peut atteindre quand il n'y a pas de résistance extérieure.

Si l'on veut comparer deux piles, quant à leur maximum d'effet utile, il n'y a qu'à déterminer dans chacune d'elles le maximum d'intensité du courant d'un des couples qui la composent : le rapport de ces maximums est le même que celui qu'on cherche. En effet, pour l'une ce maximum est :

$$I = \frac{e}{2r}, \text{ pour l'autre } I' = \frac{e'}{2r'}$$

$$\text{Or } \frac{I}{I'} = \frac{e}{e'} \cdot \frac{r'}{r}$$

Mais l'intensité maximum du courant d'un couple de la première pile est $i = \frac{e}{r}$, et pour la seconde, $i' = \frac{e'}{r'}$. Or, $\frac{i}{i'} = \frac{e}{e'} \cdot \frac{r'}{r} = \frac{I}{I'}$.

Ce résultat de la théorie est tout à fait d'accord avec celui que m'avait donné, en 1830, une expérience fondée sur le

[1] Voyez la note finale G.

ple raisonnement que, pour avoir le maximum d'effet, il . que le nombre des couples soit tel, que le courant circule s la pile ni plus ni moins vite que dans le conducteur qui nit ses pôles, que, par conséquent, la résistance de la pile égale à celle de ce conducteur[1].

l nous resterait, pour compléter ce que nous avons à dire piles, à montrer que, comme pour un couple unique, leur e électromotrice évaluée par la tension de l'électricité qui à l'état statique à chacun de leurs pôles quand, le circuit nt ouvert, les pôles sont bien isolés, est exactement proporinelle à celle que fournissent les mesures de l'électricité à nt dynamique. Or, c'est ce qui résulte des premiers travaux s par Volta, puis par Coulomb et par Biot, sur la tension trique des piles voltaïques que les physiciens, en partant de héorie du contact, ont toujours trouvée être proportionnelle nombre des couples, ainsi que nous le verrons dans le paraphe suivant, où nous nous occuperons de cette théorie. Au le, ce résultat, qui a été encore vérifié avec les piles nouvelles, complétement indépendant de cette théorie, ainsi que le uve l'analyse que nous venons de faire, et est d'accord avec ui que Kohlrausch a obtenu pour un seul couple.

Avant d'achever ce paragraphe où nous avons traité l'une s questions les plus importantes de l'électricité, il nous est possible de ne pas remarquer que, si la théorie de la force ctromotrice en général et de la pile voltaïque en particulier, laisse pas beaucoup à désirer, il n'en est pas de même des terminations expérimentales des forces électromotrices et des istances des diverses combinaisons voltaïques qui, sauf ir quelques-unes, ne présentent que peu d'accord entre résultats. Cela tient à la diversité des méthodes employées, influence de certaines causes perturbatrices qu'on ne sait toujours écarter, et enfin, à ce que la plupart des procédés t fondés sur l'emploi du rhéostat, instrument qui a l'inénient que le fil, qui en est la partie essentielle, n'est pas ours parfaitement homogène, et que par conséquent, à des

[1] Voyez plus haut, tome II, page 173.

longueurs égales de ce fil, ne correspondent pas toujours des résistances égales.

Une autre cause de confusion dans ce sujet, c'est l'absence d'une unité adoptée par tous les physiciens pour lui rapporter toutes les forces électromotrices. Peut-être à cet égard ce qui vaudrait le mieux, ce serait d'adopter le moyen proposé par Weber, à la suite des beaux travaux faits en commun avec Gauss, pour avoir une mesure absolue des courants électriques. Ce moyen consiste à faire passer le courant que l'on veut mesurer par un anneau de cuivre épais placé dans le méridien magnétique, et dont la résistance peut être considérée comme nulle, vis-à-vis de celle des autres parties du circuit dans lequel on le place; puis, on observe la déviation d'une petite aiguille aimantée placée au centre de ce cercle. Si le diamètre du cercle dépasse six ou huit fois la longueur de l'aiguille, on trouve l'intensité du courant, d'une manière tout à fait indépendante des dimensions de l'appareil et de l'intensité du magnétisme de l'aiguille, en multipliant la tangente de l'angle de déviation observé φ, par le rayon du cercle R et l'intensité absolue de la composante horizontale du magnétisme terrestre au point d'observation T, et en divisant le tout par 2π; ce qui donne la formule $\frac{R \times T}{2\pi}$ tang. φ. M. Bunzen qui a employé cette manière de mesurer pour comparer les forces électromotrices de ses couples à celles d'autres couples, avait trouvé pour Marbourg T = 1,88. Nous reviendrons, quand nous nous occuperons du magnétisme terrestre, sur cette méthode, qui a l'avantage de prendre dans la nature, c'est-à-dire, dans le magnétisme terrestre, l'unité dont on a besoin.

Nous avons dit que M. Pouillet l'avait cherchée dans le courant produit par un couple thermo-électrique cuivre et bismuth, dont les soudures étaient à 0° et à 100°. Pour comparer ce courant à celui d'un simple couple hydro-électrique cuivre et zinc dans l'eau acidulée, il avait d'abord évalué la résistance de ce circuit thermo-électrique, et l'avait trouvée égale à celle d'un fil de cuivre de 50 mètres de longueur et de 1 millimètre de diamètre. Puis, pour obtenir une même déviation

16 degrés au galvanomètre avec une pile hydro-électrique nposée de 12 couples, il avait trouvé que la résistance totale circuit devait être égale à celle d'un fil de platine de 0 mètres de longueur, équivalente elle-même à celle d'un fil cuivre de 1 millimètre de diamètre, mais de 96,340 mètres longueur. Il est facile de conclure de là, que l'intensité du urant produit par les 12 couples de la pile hydro-électrique 1127 fois celle du courant du couple thermo-électrique, qui établit, entre la force électromotrice de ce couple et celle n seul des couples de la pile, le rapport de 1 à 94, bien rapché de celui de 1 à 94,6 trouvé par Wheatstone.

Mais il ne suffisait pas d'avoir pour les courants une mesure mmune. M. Pouillet a voulu aussi s'assurer directement de actitude du principe, qu'à force électromotrice égale, l'inten- d'un courant mesurée par son effet, c'est-à-dire la déviation de guille d'un galvanomètre, est bien proportionnelle à la quan- d'électricité transmise. Dans ce but, il a mis dans le circuit n courant qui traversait un galvanomètre à sinus, une roue nt la circonférence unie, comme le pourtour d'un disque, sente des intervalles alternativement de métal et de bois, ces èces de dents ou surfaces conductrices et non conduc- ces étant égales entre elles. Cette roue, portée sur un axe mé- lique qui communique avec les dents métalliques de la conférence, peut recevoir un mouvement de rotation extrê- ment rapide. L'un des pôles de la pile communique avec xe, et l'autre avec le fil du galvanomètre à sinus, lequel se mine par une petite languette qui presse un peu contre la conférence de la roue. Pendant le repos, lorsque la languette iche une dent de métal, le courant passe en totalité, et on ar exemple, une déviation de 60°; quand elle touche une dent bois, le courant ne passe plus. Mais, en donnant un mouve- nt de rotation à la roue, on voit d'abord, si ce mouvement lent, l'aiguille osciller ; puis à mesure qu'il s'accélère, les llations diminuent d'amplitude, et on arrive à une certaine sse pour laquelle l'aiguille reste parfaitement fixe. A partir ce point, on peut augmenter la vitesse indéfiniment sans l'aiguille cesse d'être immobile et de marquer la même dé-

viation. Dans la même expérience, où la déviation était de 60° quand le disque était en repos, on a eu une déviation fixe de 25°·45′, aussi bien, quand la roue faisait *cinq* tours par *minute* que lorsqu'elle en faisait *vingt* par *seconde*. Mais le sinus de 60° étant double de celui de 25°·45′, il en résulte que, par le mouvement, la force du courant a été réduite à moitié. Or, qu'a-t-on fait dans cette expérience, sinon de réduire à moitié le temps pendant lequel passe un courant, et on a réduit ainsi sa force également à la moitié. D'un autre côté, il est évident que la quantité d'électricité qui passe dans un circuit est proportionnelle au temps; donc, une quantité d'électricité moitié produit un effet moitié, et il est bien vrai que la quantité d'électricité qui constitue un courant, est proportionnelle à la force de ce courant mesurée par la déviation qu'il exerce sur l'aiguille d'un galvanomètre.

Cette même loi se vérifie en prenant, comme nous avons démontré qu'on pouvait le faire, pour en déduire la quantité d'électricité, la quantité d'action chimique qui lui correspond, par exemple, la quantité d'eau ou de sulfate de cuivre décomposés, et en plaçant un galvanomètre à sinus ou à tangente dans le circuit. On peut même établir un rapport entre ces deux manières de mesurer la quantité d'électricité, et évaluer ainsi, en unités de courant, celle qu'exige la décomposition d'un certain poids d'eau, d'un gramme, par exemple. C'est ce qu'a fait M. Pouillet en opérant comme suit :

On commence par déterminer en longueurs de fil de cuivre les résistances de la pile, du liquide soumis à la décomposition et de tous les autres conducteurs; puis, on note l'instant, où le voltamètre étant placé dans le circuit, commence le dégagement du gaz. On observe la déviation de l'aiguille du galvanomètre qui demeure constante, et on laisse marcher l'expérience jusqu'à ce qu'on ait obtenu un volume convenable d'hydrogène, le seul des deux gaz qu'on recueille pour plus d'exactitude, afin d'éviter la recomposition des gaz mélangés. Le tableau suivant montre que le produit du temps nécessaire pour obtenir le même volume d'hydrogène par la force du courant, est un nombre constant, et cela, quelle que soit la cause qui fasse varier

›rce du courant, aussi bien quand c'est le degré de con-
ibilité du liquide à décomposer ou la nature des élec-
es, que lorsque c'est la puissance de la pile. Il en résulte
:, puisque, d'après la loi que nous venons d'établir, la
ıtité d'électricité est proportionnelle à la force du courant,
la quantité d'électricité qu'exige la décomposition d'un cer-
poids d'eau est toujours la même, que l'eau soit plus ou
ns conductrice, et que l'opération dure par conséquent
ı ou moins longtemps. Voici ce tableau :

LIQUIDE.	MÉTAL DES ÉLECTRODES.		TEMPS pour 1gr. d'hydrogène.	DÉVIATION DU GALVANOMÈTRE		PRODUIT de l'intensité par le temps.
	Positif.	Négatif.		Angle.	Sinus.	
distillée avec acide	Platine	Platine	498"	5°50	0,1016	50,60
ılfurique.	id.	id.	510	5 40	0,0987	50,54
ıide précédent éten-	id.	id.	725	4	0,0697	50,53
ı d'un volume d'eau	id.	id.	728	4	0,0697	50,74
stillée.	id.	id.	919	3 10	0,0552	50,73
	id.	id.	417	6 50	0,1190	49,62
	id.	id.	423	6 45	0,1175	49,70
	Cuivre	id.	251	11 20	0,1965	49,32
ordinaire avec acide	id.	id.	247	11 30	0,1994	49,25
ılfurique.	id.	id.	247	11 30	0,1994	49,25
	Zinc	id.	239	12 »	0,2080	49,71
	id.	id.	258	11 »	0,1908	49,22
	Platine	id.	684	4 10	0,0724	49,50
le sulfurique étendu.	id.	id.	77	40 »	0,6428	49,50

laintenant, pour avoir la mesure de la quantité d'électricité,
ut savoir que la résistance totale du circuit, dans les deux
nières expériences du tableau, était équivalente à celle de
9 mètres du fil de cuivre de 1 mill. de diamètre, dont 148
: la résistance de la pile et du galvanomètre à sinus,
531 pour celle du liquide soumis à la décomposition.
nt à l'intensité du courant, elle était 2,665 fois celle du cou-
de la source thermo-électrique pris pour unité, dont le cir-
présente une résistance égale à celle de 20 mètres du
ne fil de cuivre. Or, avec cette force de courant, on a obtenu

2,665 cc. d'hydrogène dans 500", et, comme un gramme d'eau renferme 1241 cc., 61 d'hydrogène, il faudrait, pour en opérer la décomposition, une quantité d'électricité représentée par $2,665 \times \frac{1241^{cc.}\ 61}{2} = 1654,445$, c'est-à-dire égale à plus de 1600 fois celle qui passe pendant 500" dans la source prise pour unité; et si l'on prend pour unité de temps la minute, on trouve que la quantité d'électricité nécessaire pour décomposer un gramme d'eau est 13787 fois la quantité d'électricité qui passe en 1 minute dans un circuit bismuth et cuivre, dont la résistance totale est équivalente à celle d'un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre et de 20 mètres de longueur, et dont les soudures ont une différence de température de 100°. Et ce nombre est toujours le même, que le gramme d'eau appartienne à une solution bonne ou mauvaise conductrice, et qu'il soit décomposé par une pile forte ou faible [1].

Il est probable, comme nous le verrons dans le dernier paragraphe de ce chapitre, que la quantité d'électricité nécessaire pour décomposer un gramme d'eau est égale à celle que produit sa décomposition opérée par une action chimique ordinaire,

[1] M. Weber a également déterminé la quantité absolue d'électricité nécessaire pour décomposer un certain poids d'eau, en prenant pour unité la quantité d'électricité qui doit passer, dans l'unité de temps (une seconde), par la section transversale d'un conducteur qui représente l'unité de surface, pour produire à distance des effets identiques à ceux que produit la quantité de magnétisme qui sert d'unité de mesure. Il faut donc observer l'effet magnétique d'un courant électrique, pendant le même temps qu'il décompose une certaine quantité d'eau. Nous avons déjà vu plus haut comment Weber rapporte cet effet magnétique à celui du magnétisme terrestre au lieu de l'observation. Malheureusement, les résultats de Weber ne sont pas comparables à ceux de Pouillet, le rapport entre les unités différentes adoptées par ces deux physiciens n'ayant pas été déterminé. Le nombre trouvé par Weber pour l'*équivalent électro-chimique* de l'eau est 0,00936. Il l'obtient, en divisant la quantité d'eau décomposée exprimée en milligrammes, par la quantité absolue d'électricité correspondante évaluée au moyen de la formule que nous avons donnée plus haut. Dans ses expériences, la quantité d'eau décomposée a été de 14 milligrammes en moyenne, et la quantité absolue d'électricité de 1500 en moyenne aussi. La durée de chaque expérience était d'environ 1200 secondes.

explique la puissance de ce mode de production de l'é-
ité.

§ 9. Électricité de contact. — Piles sèches.

s avons déjà plus d'une fois fait allusion à la théorie du
t, dans laquelle on attribue la production de l'électricité
a pile voltaïque au contact des deux corps solides hétéro-
qui font partie de deux couples consécutifs ou qui, dans
théorie, constituent eux-mêmes le couple [1]. Nous avons
jà un grand nombre de faits de nature à démontrer que
tact à lui seul ne suffit pas pour dégager l'électricité,
u'il faut en outre une action, action qui, dans la pile, est
ction chimique. Cependant, il est encore un certain
re de phénomènes qui semblent, au premier abord, ne
ir être expliqués qu'en admettant que, par lui-même, le
t de deux corps hétérogènes détermine, indépendam-
le toute action, un développement d'électricité; la pro-
n de l'électricité dans les piles sèches est de ce nombre.
ces faits que nous allons examiner en traitant la ques-
nérale de l'électricité de contact.

avons déjà rappelé l'expérience fondamentale de Gal-
lans laquelle on fait éprouver une vive commotion à
ouille convenablement préparée, en touchant ses nerfs
s mis à nu avec l'extrémité d'un fil de métal, de cuivre
ple, et les muscles de ses cuisses mis également à nu
rémité d'un fil d'un métal différent tel que du fer, ces
aux se touchant eux-mêmes par leur autre extré-
autre expérience plus ancienne, imaginée par Sulzer,
placer la langue entre deux rondelles de métal diffé-
eur nature, l'une d'argent, l'autre de zinc par exem-
tablir un contact métallique entre elles en les faisant
xtérieurement, tout en laissant la langue entre les

rie chimique, le couple est formé des métaux qui plongent dans
voyez la note de la page 600).
e 27, figure 18.

deux rondelles. Au moment du contact on éprouve une saveur piquante, et on a la sensation d'une lueur instantanée si on tient les yeux fermés. Ce double effet, ainsi que la commotion imprimée à la grenouille, sont des phénomènes électriques, puisqu'on peut les produire d'une manière identique par l'action directe de l'électricité. Or, quelle est la cause de cette production d'électricité? Elle est, suivant Volta, dans le contact des deux métaux hétérogènes; et la grenouille, dans la première expérience, la langue, dans la seconde, ne servent qu'à transmettre les électricités dégagées et à en accuser la présence, c'est-à-dire qu'elles ne jouent d'autre rôle que celui de conducteurs et d'électroscopes.

Volta admet donc que c'est au contact des deux conducteurs solides que se développe la force électromotrice; force en vertu de laquelle l'un des corps se constitue dans un état positif, et l'autre dans un état négatif; les deux électricités positive et négative étant nécessairement égales, de telle façon que si l'une est représentée par $+e$, l'autre l'est par $-e$, $+e$ et $-e$ ajoutés faisant 0. Quant à la valeur de e, ou, ce qui revient au même, de la différence entre les états électriques des deux corps, elle dépend de leur nature relative, mais elle est la même, quelle que soit la charge électrique absolue de chacun d'eux. Ainsi, si dans leur contact deux lames, l'une de zinc, l'autre de cuivre, prennent, la première e d'électricité positive, la seconde e d'électricité négative, la différence entre les états électriques des deux lames sera $2e$, chacune des électricités étant affectée de son signe. La quantité d'électricité dont est chargé le zinc vient-elle à augmenter de manière à être ne, celle du cuivre en contact avec ce zinc se trouve alors être $(n-2)e$, de manière que la différence soit toujours $2e$. Ce second principe permit à Volta d'expliquer l'accumulation de l'électricité dans la pile. En effet, soient un certain nombre de couples formés chacun de deux rondelles superposées, l'une de cuivre en dessous, l'autre de zinc en dessus; dans chaque couple le cuivre a $(-e)$ et le zinc $(+e)$; mais si le cuivre communique avec le sol, son électricité est o et celle du zinc est $+2e$. Plaçons ces divers couples les uns au-dessus des autres, de telle

cuivre soit toujours au-dessous du zinc, et sépa-
du couple inférieur, du cuivre du couple supérieur,
delle de drap ou de carton humide qui, en préve-
act métallique entre les deux métaux appartenant
les différents, laisse cependant passer l'électricité du
second : nous construisons ainsi la pile à colonnes[1].
ra que le cuivre du second couple, au lieu d'avoir
rique 0, aura le même état électrique $2e$ que le zinc
, et le zinc du second aura alors $+ 4e$ d'électricité,
la force électromotrice qui s'exerce par son contact
ivre. Ce $4e$ sera aussi l'état électrique du cuivre du
uple dont le zinc aura ainsi $+ 6e$ d'électricité ; et,
uples, le zinc du dernier aura $+ 2ne$ d'électricité,
premier qui communique avec le sol ayant 0. La
cas, n'est chargée que d'électricité positive, celle-
augmentant de la base au sommet ; elle ne serait
d'électricité négative si les couples avaient été
un ordre inverse, les zincs étant au-dessous des
es deux extrémités ou pôles de la pile sont isolés tous
distribution de l'électricité s'y fait différemment ; on
des moitiés de la pile chargée d'électricité néga-
re de positive. Le calcul de cette distribution est
, en partant des mêmes principes et en se rappe-
somme des électricités libres prises avec leur signe,
que négative, doit toujours être égale à 0, puis-
est point écoulé dans le sol[2].
tion directe faite par Volta, puis plus tard par Cou-
Biot, confirme d'une manière assez approximative
ion de l'électricité dans une pile, telle qu'elle est
ette théorie. Mais il est remarquable que cette dis-

ge 28, figure 17.
lcul pour le cas de 8 couples : soit x l'électricité du premier
at toujours la différence entre les états électriques d'un cuivre et
ntact :

cuivre.	x
zinc.	$x + 2e$
cuivre.	$x + 2e$

tribution est exactement la même que celle que nous avons vu être la conséquence d'une toute autre hypothèse sur la nature de la force électromotrice. Cela doit être en effet, car ce qui sépare les partisans de la théorie chimique de ceux de la théorie du contact, est la cause et le siége même de la force électromotrice, mais non la manière d'envisager le mode d'accumulation des forces électromotrices des différents couples, point sur lequel ils sont d'accord. La seule différence, c'est que dans la théorie chimique on ne fait qu'ajouter les unes aux autres les forces électromotrices des différents couples successifs, ce qui doit nécessairement avoir lieu, tandis que, dans la théorie du contact, il faut introduire une hypothèse difficile à vérifier directement, c'est que la différence entre les états électriques de deux métaux en contact est toujours la même, quelle que soit la quantité absolue d'électricité dont ces deux métaux sont chargés.

Comme on peut le voir, dans la théorie voltaïque les liquides dont la pile est chargée ne jouent que le rôle de conducteurs: ils ne sont nullement électromoteurs, l'origine de l'électricité étant toute dans les deux métaux du couple. Sans s'arrêter aux objections indirectes contre cette manière d'expliquer la production de l'électricité dans la pile, telles que la relation si intime qui unit la quantité d'électricité dégagée avec la quantité d'action chimique produite, la nécessité que les liquides aient un rapport chimique avec l'un au moins des éléments du couple pour qu'il y ait effet électrique, la simple conductibilité ne suffisant pas[1], points que nous avons déjà traités en

2e zinc.	$x + 4e$
3e cuivre.	$x + 4e$
3e zinc.	$x + 6e$
4e cuivre.	$x + 6e$
4e zinc.	$x + 8e$

Somme des électricités $= 0 = 8x + 32e$ d'où $x = -4e$.

Cette valeur de x étant connue, on trouve la charge électrique de chaque disque très-facilement. Ainsi celle du premier cuivre étant $4e$ d'électricité négative, celle du quatrième zinc est $4e$ d'électricité positive, celle du second zinc et du troisième cuivre est 0, etc.

[1] En effet, il résulte des nombreuses expériences de M. Faraday en particulier

détail, et sur lesquels il est inutile de revenir; nous nous bornerons à insister sur deux difficultés péremptoires que nous paraît présenter la théorie voltaïque de la pile.

La première est l'impossibilité de dresser une échelle du pouvoir électromoteur des corps solides conducteurs. Volta avait cru réussir à en dresser une dans laquelle chaque corps était négatif dans son contact avec ceux qui suivaient, et positif avec ceux qui précédaient. Mais cette échelle n'était vraie qu'autant que le conducteur interposé entre les métaux du couple était de l'eau ou de l'air humide; elle n'exprimait que la facilité plus ou moins grande de chaque corps à décomposer l'eau ou à s'oxyder sous l'influence combinée de l'oxygène et de l'eau. Elle n'était plus exacte, dès qu'au lieu d'eau, on prenait pour conducteur humide un acide concentré, tel que l'acide nitrique, un sulfure dissous, tel que le sulfure de potassium, un chlorure fondu, etc. En un mot, l'ordre des pouvoirs électromoteurs change toujours avec la nature de la réaction chimique qui a lieu entre les métaux des couples et le liquide dont la pile est chargée. Marianini et plusieurs autres physiciens ont cherché à répondre à cette objection, en prétendant que la décomposition opérée dans le liquide qui sépare les couples par l'électricité que produit le contact dans ces couples, en déposant sur la surface de leurs métaux des corps étrangers, altère leur faculté électromotrice. Mais si les choses se passaient ainsi, la nature de l'électricité prise par chaque métal du couple, ou, ce qui revient au même, la direction du courant dans la pile, devraient être les mêmes au premier moment, quel que fût le liquide, puisqu'elle ne dépendrait que de la nature relative des deux métaux. Or il n'en est point ainsi; d'ailleurs le changement dans la polarité des métaux du couple a lieu quand même leur surface n'est point altérée, le composé qui s'y forme étant dissous à mesure de sa formation.

que des couples formés de deux métaux différents en contact, sont inactifs lors même qu'ils plongent dans le liquide le plus conducteur, si ce liquide n'est pas capable d'exercer une action chimique sur l'un ou l'autre des métaux du couple; tels sont un couple fer et platine dans une dissolution de sulfure de potassium, un couple fer et cuivre dans une dissolution de potasse, etc.

Davy avait déjà remarqué la différence qui existe dans le sens du courant selon que le conducteur liquide d'une même pile est une dissolution acide ou un sulfure liquide. J'ai moi-même trouvé un grand nombre d'exemples semblables, et Faraday les a tellement multipliés qu'il est impossible de voir autre chose dans l'échelle de Volta, comme nous l'avons dit, qu'une classification des métaux, d'après leur degré d'affinité pour l'oxygène.

La seconde objection est la production de l'électricité dans un couple unique, sans qu'il y ait contact entre les deux métaux qui la composent. Nous en avons cité bien des exemples, tels, en particulier, que celui d'une lame de zinc et d'une lame de platine qui, plongées dans de l'eau acidulée, décomposent l'iodure de potassium qu'on place entre les deux lames à l'endroit où elles devraient se toucher métalliquement pour produire de l'électricité, selon la théorie du contact[1]. Nous pouvons, aux expériences de ce genre, ajouter celle non moins curieuse de la production de l'étincelle électrique au moment où l'on établit le contact entre les deux éléments d'un couple unique. On peut même rendre cette étincelle très-forte en plongeant dans l'acide sulfurique étendu deux grandes surfaces cylindriques de cuivre entre lesquelles on en place une de zinc amalgamé, et en réunissant le zinc et le cuivre au moyen de deux fils de cuivre qui leur sont respectivement soudés; au moment où, l'un étant plongé dans du mercure, on y plonge l'autre, il y a une vive étincelle; l'état de tension électrique préexistait donc évidemment au contact des deux métaux, car, sans cela, il n'y aurait pas pu y avoir production d'électricité, ni par conséquent d'étincelle au moment de l'établissement du contact; il n'aurait pu y en avoir qu'à la rupture.

Devant tous ces faits et d'autres du même genre dont l'électrochimie abonde, les partisans de la théorie du contact ne pouvant nier l'action électromotrice des liquides dans la pile voltaïque, en sont venus à étendre le principe de Volta au con-

[1] Tome II, page 606.

les liquides et des solides, et même à admettre, qu'il y a d'électricité développée dans le contact des solides et des les que dans celui des solides entre eux. C'est ce qu'ont en particulier, Fechner, Karsten, Buff et Péclet, en se nt sur leurs expériences propres et sur d'autres, faites ieurement par M. Becquerel. Nous avons déjà parlé des ex- ices de Becquerel, ainsi que de celles de Karsten et de Buff, lesquelles on recueille avec le condensateur l'électricité gée en plongeant dans des liquides divers des substances s différentes. Nous avons vu qu'elles rentraient dans le gement de l'électricité qui accompagne les actions chimi- Toutefois, nous y reviendrons dans un instant, en même que nous parlerons de celles de M. Péclet et de quelques s, dont les résultats ne semblent pas au premier abord ord avec les lois qui régissent la production chimique de ricité. Nous devons auparavant examiner la question tante, de savoir, s'il y a ou non un effet électrique résul- u simple contact de deux corps solides.

ta ne s'était pas contenté d'établir ce principe indirecte- en expliquant ainsi, soit l'expérience de Galvani, soit de Sulzer, soit le développement d'électricité dans sa l avait cherché à le prouver par des expériences directes. les trois modes d'opérer qu'il avait imaginés et dont st servi après lui. Dans tous également, on fait usage condensateur, dont les plateaux en cuivre doivent être dorés pour être à l'abri de l'action oxydante de l'air le.

premier mode consiste à tenir entre ses doigts, qui doivent umides pour être conducteurs, une plaque de zinc, soudée plaque de cuivre, avec laquelle on touche l'un des pla- du condensateur[1], l'autre étant mis en communication le sol. On trouve le plateau touché, chargé d'électricité ive, la positive que le zinc a prise par son contact le cuivre étant passée dans le sol. On peut également

[1] peut toucher directement avec la plaque de zinc le plateau du condensa- ci-ci servant de métal négatif.

placer un conducteur humide, tel que du carton humecté, sur le plateau des condensateurs et le toucher avec le zinc, tandis qu'on tient la lame de cuivre soudée au zinc; on charge alors le plateau d'électricité positive, tandis que la négative va dans le sol. Il est facile de voir que ces expériences se concilient aussi bien avec la théorie chimique qu'avec celle du contact, si on a égard à l'action chimique qu'exerce sur le zinc, soit l'humidité de la main, soit le conducteur humide.

Le second mode d'opérer consiste à avoir deux disques isolés, l'un de zinc, l'autre de cuivre, à les mettre en contact; puis, à les séparer, et à porter l'un d'eux au condensateur en déchargeant l'autre; après avoir répété plusieurs fois cette série d'opérations, on finit, quand l'expérience a réussi, ce qui est assez rare, par accumuler, sur le plateau du condensateur, de l'électricité positive quand on l'a touché avec le disque de zinc, et de la négative quand on l'a touché avec le disque de cuivre.

Le troisième mode, qui a beaucoup de rapports avec le second, mais qui réussit mieux en général, étant moins capricieux, consiste à prendre pour plateaux du condensateur deux disques de nature différente, l'un de cuivre par exemple, et l'autre de zinc, puis à les réunir au moyen d'un petit arc métallique tenu par un manche isolant. Cette réunion opérée et l'arc étant enlevé, on trouve que le disque de cuivre s'est chargé d'électricité négative et celui de zinc d'électricité positive. Il faut remarquer que, quoiqu'ils soient superposés, les deux disques n'ont entre eux aucun autre contact métallique que celui qu'on détermine au moyen de l'arc isolé, à cause de la couche de vernis qui les sépare.

Dans les deux derniers modes d'opérer, on ne peut, comme dans le premier, expliquer la production de l'électricité par l'action chimique d'un liquide sur l'un ou l'autre des métaux en contact, puisqu'il n'y a aucun liquide en présence. On est alors obligé, dans la théorie chimique, de recourir à l'action chimique de l'air humide. Voyons donc comment on peut rendre compte de cette manière, du dégagement d'électricité qui a lieu dans le troisième mode. Nous reviendrons ensuite

second. Il est d'abord facile de constater la nécessité qu'il
pour obtenir un effet électrique, que la surface de l'un des
aux au moins soit en contact avec l'air ou avec un fluide
stique, à défaut de liquide. Pfaff et Fechner ont bien trouvé
en plaçant les deux plateaux du condensateur dans le vide
dans de l'oxygène bien desséché, on avait encore un effet;
is on sait combien il est difficile, pour ne pas dire impos-
le, de se débarrasser ainsi de toute vapeur aqueuse. Le
yen le plus sûr d'éviter tout contact entre le zinc et la va-
r aqueuse, c'est de recouvrir sa surface extérieure d'une
che de vernis très-épaisse, après avoir eu la précaution de
der au zinc une petite tige de platine qui permette d'établir
e communication métallique entre lui et le disque de cuivre.
la couche de vernis est assez épaisse pour que l'accès de
ir ou de l'humidité à la surface métallique ne puisse avoir
u en aucun point, on a beau établir la communication
étallique entre le disque de zinc et le disque de cuivre, ou
cher le platine soudé au zinc avec le doigt en faisant
plement communiquer avec le sol le disque de cuivre; on
obtient aucun signe électrique; cependant, suivant la théorie
contact, le zinc devrait se charger d'électricité positive et
cuivre de négative. Il y a plus; ce disque de zinc ainsi verni,
venu inactif, peut servir de plateau de condensateur comme
plateau de laiton doré, lorsqu'on met la tige de platine qui
est soudée en communication avec une source électrique;
qui prouve que ce n'est pas par défaut de sensibilité qu'il
ccuse pas de signes électriques, quand on le met en contact
e le cuivre. On ne peut pas dire non plus que ce soit le con-
t avec le zinc de la gomme laque dont est fait le vernis, qui
difie son état électrique, puisque la gomme laque est iso-
te et que d'ailleurs la couche de vernis semblable, sauf
elle est plus mince, qui est sur sa surface inférieure, ne la
difie pas [1].

[1] Pérlet prétend avoir obtenu encore des signes électriques en recouvrant plusieurs couches de vernis à la gomme laque la surface du zinc; mais on ne peut être assuré que l'air n'a pas d'accès jusqu'au metal par l'effet de quelques lacunes de continuité, que lorsque la couche est assez épaisse pour que le zinc

Une autre preuve de la nécessité de ce contact entre la surface du zinc et l'air ou l'humidité ambiante, est qu'on n'obtient aucun signe électrique en recouvrant d'une couche de cuivre, et encore mieux d'or, toute la surface du disque de zinc. En d'autres termes, un plateau fait de zinc doré devient tout à fait inactif. Cependant, en touchant la surface extérieure de ce plateau avec le doigt, je donne écoulement dans le sol à l'électricité négative dont l'or s'est chargé dans son contact avec le zinc, tandis que la positive du zinc est dissimulée et condensée, par l'effet de la négative du second plateau du condensateur qui communique avec le sol. Il devrait donc y avoir une charge d'électricité positive dans le plateau de zinc doré, et cependant il n'y a absolument aucun signe électrique. Il faut avoir soin que la couche d'or, dont la surface du zinc est recouverte, soit assez épaisse pour ne présenter aucune solution de continuité qui permette à l'air humide d'avoir accès, même en un point, à la surface du zinc.

La nécessité d'un contact immédiat entre la surface du métal oxydable et l'air plus ou moins humide ambiant étant bien démontrée, voyons comment on peut se rendre compte de la production de l'électricité dans la théorie chimique. Prenons le cas où c'est un disque de zinc qui forme l'un des plateaux du condensateur; il en sera de même pour tout autre métal susceptible de s'oxyder. Ce disque polarise les molécules de la couche d'humidité en contact avec sa surface, comme une lame de zinc polarise les molécules de l'eau dans laquelle elle est immergée. Au moment où l'on met le zinc en contact avec le disque de cuivre du condensateur, on constitue un couple, il s'opère une décharge, l'électricité négative passe du zinc dans le cuivre en contact, le zinc s'oxyde et l'électricité positive, devenue libre, ne pouvant s'écouler, puisque le milieu où elle s'est dégagée, au lieu d'être comme dans le cas d'un vrai couple voltaïque liquide et conducteur, est gazeux et isolant, demeure

ne soit plus visible. Il n'est pas nécessaire d'augmenter l'épaisseur de la couche de vernis qui est sur la surface condensante du plateau, parce que l'air n'y a pas d'accès, et qu'en augmentant cette épaisseur on diminuerait la sensibilité du condensateur.

urface même du zinc où elle est condensée par la néga-
qui a passé dans le disque de cuivre. De là vient qu'en sé-
it les deux plateaux du condensateur, on trouve de l'élec-
é positive accumulée sur le zinc, et de la négative sur le
e.

te explication, qui fait rentrer d'une manière très-simple
la théorie chimique, le développement d'électricité qui a
ans le cas qui vient de nous occuper, repose sur la supposi-
ue l'un des métaux dont sont faits les disques du conden-
r s'oxyde à l'air humide, et que cette oxydation développe
d'électricité pour charger l'instrument. Quant au premier
, il est facile à prouver; il suffit de laisser pendant un
s plus ou moins long un métal, dont la surface est bien
, en contact avec de l'air même en apparence très-sec, pour
rcevoir que cette surface s'est ternie, et cela, lors même
s'agit de métaux très-peu oxydables, tels que le cuivre
rgent. Quant au second, il résulte d'expériences de Fa-
et de Becquerel faites d'une manière toute différente, et
ous rapporterons dans le paragraphe suivant, que la pro-
on dans laquelle il suffit qu'un métal s'oxyde pour déga-
ne quantité d'électricité capable de charger un conden-
r, est infiniment petite, puisque la décomposition d'un
milligramme d'eau résultant de l'oxydation d'une quan-
e métal équivalente environ à 4 milligrammes pour le zinc,
uit assez d'électricité pour charger 20 mille fois un car-
magique dont les surfaces armées auraient un mètre carré,
anière que chaque charge donnât une étincelle longue de
timètre; l'oxydation de 1 milligramme de zinc ne le char-
it donc que 5 mille fois. Or, pour charger un condensateur
étincelle sensible, mais de manière seulement à faire écar-
s feuilles d'or de l'électroscope, il suffirait de la dix-mil-
e partie de la charge qui donne une étincelle de 1 centi-
e; par conséquent l'oxydation de $\frac{1}{10000}$ de milligramme de
produirait assez d'électricité pour charger 5 mille fois
ndensateur. Dès lors, on peut comprendre combien il
fficile d'éviter la si faible oxydation qui suffit pour pro-
r l'électricité qu'accuse un condensateur. Remarquons en-

core que l'étendue de la surface métallique qui est en contact avec le milieu oxydant n'exerce aucune influence sur la charge du condensateur, laquelle ne dépend, comme nous l'avons vu, que de l'intensité de la force électromotrice qui naît de l'action mutuelle de ce milieu et du métal; c'est ce qui explique pourquoi il suffit que quelques points de cette surface soient en contact avec le milieu pour que le condensateur se charge.

Ajoutons encore que lors même que le métal positif ne serait pas susceptible de s'oxyder à l'air libre dans son état naturel, le fait qu'il est uni métalliquement à un autre métal qui forme le second des plateaux du condensateur dont lui-même est le premier, facilite son oxydation, exactement de la même manière qu'elle est facilitée quand ce métal, plongé dans un liquide électrolytique, est uni métalliquement avec un métal moins attaquable qui plonge dans le même liquide[1]. La seule différence, c'est qu'il n'y a qu'une décharge au lieu d'un courant continu, mais nous avons prouvé que cela ne change rien à la nature des phénomènes qui ont lieu[2].

Il est inutile maintenant de citer les nombreuses expériences par lesquelles Fechner, Pfaff, Belli et tant d'autres ont cherché à démontrer la vérité de la théorie de Volta au moyen de la troisième manière d'opérer que nous venons d'analyser, puisque le résultat de ces expériences n'est point en opposition avec la théorie chimique, comme nous venons de le démontrer. Nous nous arrêterons seulement sur quelques faits qui semblent s'y plier moins facilement.

M. Peltier ayant pris, pour plateaux d'un condensateur, un disque d'or et un disque de platine, et les ayant fait communi-

[1] Tome II, page 614.

[2] Il serait très-intéressant de combiner un appareil qui permît de charger et de décharger très-rapidement et un très-grand nombre de fois de suite un condensateur, dont l'un des plateaux serait de zinc très-poli, et de voir si le plateau ne serait pas plus oxydé qu'un plateau semblable laissé tout isolé dans le même milieu. Au reste, la grande rapidité avec laquelle les métaux, tels que le fer, s'oxydent dans l'air quand ils sont en contact avec un métal moins oxydable, tel que du plomb ou du cuivre, ne laisse point d'incertitude sur le résultat de l'expérience.

' au moyen d'un fil de platine isolé, trouva que le premier it chargé d'électricité positive, et le second d'électricité tive. Ayant préparé ensuite quatre disques en verre, recou- l'un d'une feuille de platine, le second d'une feuille d'or, isième d'une feuille d'argent, le quatrième d'une feuille in, il s'en servit en les combinant les uns avec les autres à deux comme plateaux d'un condensateur, et il trouva, s mettant en communication avec une même source d'élec- é, que les uns se chargeaient plus facilement de l'électricité tive que les autres, d'où il conclut qu'il existe entre les ux une différence quant à leur faculté de coercer la même ricité. Ainsi, les quatre métaux essayés devraient être placés l'ordre suivant, quant à leur faculté de coercer l'électricité tive : platine, argent, or et étain. M. Peltier avait encore lu de ses recherches que, dans leur état d'équilibre naturel, métaux possèdent des quantités différentes d'électricité, soit ive, soit négative, suivant leur nature, et que c'est à cette ricité inhérente aux particules des métaux, et qui en serait arable, que seraient dus les effets électriques de contact lesquels on n'aperçoit aucune trace d'action chimique. il est facile de voir que tous les effets observés par M. Pel- tiennent à une opposition entre les forces électromotrices ources avec lesquelles on charge le condensateur, et celle ait du contact de l'air humide avec les métaux dont sont les plateaux du condensateur. Néanmoins, le fait de la ge négative que prend le disque de platine dans son contact le disque d'or mérite de fixer un instant notre attention.

. Becquerel a obtenu le même résultat que Peltier; mais autre côté, en se servant d'un condensateur fait avec deux aux de platine, il n'a observé aucun signe électrique, en hant l'un des plateaux avec une lame d'or tenue d'une , et en touchant l'autre plateau avec un doigt humecté distillée. Ce n'est donc pas dans le cas observé par eltier, et vérifié par M. Becquerel, le contact de l'or et du ne qui détermine la charge électrique. On doit à M. E. uerel une expérience qui a mis sur la voie de la véritable cation du fait dont il s'agit. Un condensateur, dont les

deux plateaux sont en platine, ne donne aucun signe à l'électroscope quand on les a touchés avec le doigt, mais si l'on enlève l'un des plateaux, et qu'on le plonge pendant quelques instants dans de l'hydrogène, on trouve après l'avoir replacé et avoir établi la communication métallique entre les deux plateaux, que celui qui a été dans l'hydrogène s'est chargé d'électricité positive et l'autre de négative. Cet effet dure quelque temps, puis diminue peu à peu, par suite du séjour des plateaux dans l'air atmosphérique. A chaque immersion nouvelle du plateau dans l'hydrogène, on obtient le même résultat.

Cette double propriété du platine d'être tantôt positif, tantôt négatif, suivant que sa surface est recouverte d'hydrogène ou d'oxygène[1], tient, sans aucun doute, à la faculté que possède ce métal de déterminer la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène par son contact avec ces gaz, et même la décomposition de l'eau comme dans la pile à gaz de Grove, quand il est en contact avec un de ces gaz et l'eau. Le disque recouvert d'hydrogène se conduit donc comme un disque positif de zinc qui formerait l'un des plateaux du condensateur, l'autre étant un disque de platine ordinaire. Le disque de platine qui n'a point été plongé dans l'hydrogène, mais simplement dans l'air atmosphérique, condense à sa surface de l'oxygène ainsi que nous l'avons établi[2]; que ce gaz forme une légère couche d'oxyde, ou reste à l'état gazeux sur la surface du platine, peu importe; en tout cas, il agit, sous l'influence du platine, sur la vapeur aqueuse en contact avec lui et la décompose; c'est un effet de polarité secondaire analogue encore à celui qui a lieu dans la pile à gaz. Il doit en résulter que le disque de platine, quand il est mis en contact avec un disque d'or, ces deux disques formant les deux plateaux du condensateur, doit donner à ce disque l'électricité positive et garder la négative. Si les plateaux du condensateur sont tous les deux des disques de platine semblables et recouverts par conséquent tous les deux

[1] Nous disons d'oxygène, quoique ce soit en réalité d'air atmosphérique; mais cela revient au même.

[2] Tome II, pages 352 et suivantes.

ɔxygène, il n'y a aucun effet. Le contact d'une lame d'or 'on tient entre les doigts, avec l'un des deux disques, ne doit n plus donner naissance à aucun signe électrique, si notre ɔlication est exacte, puisque les deux disques de platine sont jours identiques; or, c'est précisément ce qui arrive contrement à ce qui devrait avoir lieu, si le contact était la se de l'électricité dégagée dans le cas où les deux disques t l'un d'or et l'autre de platine. Si la quantité d'action chique est bien faible, ne perdons pas de vue d'un autre côté, ıbien est infiniment petite la quantité d'électricité nécessaire r charger le condensateur.

'est à une cause du même genre, qu'on doit attribuer le ɔloppement d'électricité qui a lieu dans le contact du pla- ou de l'or et des peroxydes tels que celui de plomb ou de ɔganèse. Il suffit, pour prouver que ce n'est pas un effet de act, de placer entre le disque du condensateur et le perde une lame de bois mince et encore suffisamment conduc- quoique desséchée; puis en touchant le peroxyde avec le gt humide ou avec un morceau de papier trempé dans une ıtion alcaline ou acide, on charge le plateau du condensa- d'électricité positive. On le charge de négative en interpo- t entre lui et le peroxyde le papier humecté, et en le tou- nt avec le morceau de bois sec qu'on tient entre les doigts. si, dans l'action chimique qu'exerce le peroxyde de manèse ou celui de plomb sur les corps humides, l'électricité itive reste dans le peroxyde d'où elle passe dans les corps ides et conducteurs en contact avec lui, tandis que la néga- passe dans le corps humide. Les effets dynamiques aux- ls donne naissance l'immersion dans l'eau pure, et encore eux acidulée, d'un peroxyde et d'une lame de platine fixés pectivement aux deux extrémités d'un galvanomètre, sont rt à fait d'accord avec les faits que nous venons de décrire, si que cela résulte, comme nous l'avons vu[1], des recherches e nous avons faites sur ce sujet, M. Becquerel et moi. Faraday est arrivé également à la même conclusion, en dé-

[1] Tome II, page 620.

montrant que les corps extrêmement chargés d'oxygène, tels que les peroxydes, exercent très-facilement des actions chimiques, surtout quand ils forment, comme dans les cas qui viennent de nous occuper, l'un des éléments d'un couple. Quant au platine, on sait que, lors même que la quantité d'oxygène condensée à sa surface est très-faible, il se conduit toujours, dans tous les phénomènes de cet ordre, comme un corps tout prêt à lâcher son oxygène [1].

Il nous paraît donc bien établi que dans le contact des deux corps solides, l'électricité développée n'est pas due au fait de ce contact, puisque, lorsqu'on réussit à éviter toute action chimique, ce qui est très-difficile, il est vrai, il n'y a aucun signe électrique, quand même toutes les conditions nécessaires pour qu'il y en ait, dans la théorie du contact, sont réunies. Il est clair qu'il faut aussi éviter les autres actions qui peuvent donner naissance à l'électricité, telles que les actions calorifiques et les actions mécaniques. En effet nous avons vu, en nous occupant de la thermo-électricité, que le contact d'un corps chaud et d'un corps froid produit un courant électrique; mais cet effet n'est nullement dû au contact qui n'est ici, comme dans l'électricité dégagée par les actions chimiques, qu'une manière de permettre à l'électricité développée par les changements moléculaires qui accompagnent la propagation de la chaleur, de se manifester. Il faut également éviter, dans le contact des corps, les actions mécaniques qui, en produisant elles-mêmes de l'électricité, peuvent donner lieu à des erreurs; c'est surtout quand on opère suivant le second mode indiqué par Volta, en mettant en contact des disques tenus par des manches isolants, que cette précaution est nécessaire, comme nous allons le voir en nous occupant de ce mode [2].

[1] Tome II, pages 852 et suivantes.

[2] Toutefois il faut aussi avoir égard à cette cause d'erreur, quand on opère suivant le premier mode, en tenant entre ses doigts le corps qu'on met en contact avec l'un des plateaux du condensateur. On sait en effet, qu'il suffit du plus léger frottement exercé sur ce corps par les doigts, surtout quand ils sont secs, pour dégager une quantité d'électricité assez considérable (voyez plus haut, page 545).

e mode dont il s'agit consiste donc à mettre en contact
leurs fois de suite un disque de zinc et un disque de cuivre
s, en portant chaque fois l'un d'eux au condensateur,
is qu'on décharge l'autre. Fechner a remarqué que, si l'un
deux disques, celui de zinc, par exemple, est fixé à un
roscope, et que l'autre, celui de cuivre, soit placé au-
ns comme le second plateau d'un condensateur, mais sans
che isolante, on obtient à l'électroscope une électricité posi-
très-sensible en enlevant le disque de cuivre, tandis que,
qu'ils sont en contact, il n'y a pas de signes électriques
ibles, lors même que le cuivre communique avec le sol.
et Péclet attribuent cet effet à ce que, les deux disques
ant pas bien plans, ils ne sont en contact qu'en quelques
ts, et que partout ailleurs ils sont séparés par une couche
qui fait l'office de couche isolante, de sorte qu'on a une
ensation. M. Péclet a observé plusieurs faits qui lui ont
ivé que les disques en contact peuvent se conduire comme
condensateurs à air; il a remarqué que s'ils sont bien plans,
orte qu'on éprouve de la difficulté à les séparer, preuve
n'y a point de couche d'air interposée, il n'y a point d'é-
icité développée, tandis qu'il y en a notablement si leurs
aces sont usées à l'émeri et déformées de manière à n'être
planes. MM. Fechner et Buff ne peuvent se ranger à l'ex-
ation de Pfaff et de Péclet; ils sont plutôt disposés à ad-
tre au contraire que c'est surtout aux points de contact que
umulation et la condensation de l'électricité sont les plus
idérables, Fechner ayant remarqué, contrairement à Péclet,
les électricités se condensent d'autant plus, que les deux
s sont plus polies. Mais ces divergences ont peu d'impor-
ce vis-à-vis du fait observé par M. Grove, savoir que l'expé-
ce des deux disques réussit également bien, lors même qu'il
a aucun contact métallique entre les disques, ce qu'il ob-
t en plaçant entre eux un anneau mince en carton qui
apêche pas qu'on les approche autant que possible l'un de
tre, mais toujours en évitant le contact métallique. On a
à un véritable condensateur avec une lame d'air pour
che isolante; seulement on ne fait communiquer avec le sol

ni l'un ni l'autre des deux disques, ce qui fait qu'il faut plusieurs fois les rapprocher l'un de l'autre, pour pouvoir charger un véritable condensateur. Peu importe donc que les disques agissent comme condensateurs, ce que nous sommes pourtant disposés à croire, dans les expériences de Fechner et de Péclet; la cause du dégagement de l'électricité n'en est pas moins la même que dans les expériences faites avec des condensateurs dont les plateaux sont de deux métaux différents; nous n'avons donc pas besoin d'y revenir.

Mais, comme nous l'avons dit, il est important, dans ce mode d'opérer, d'éviter les actions mécaniques, et en particulier le frottement, qui peuvent donner lieu à de graves erreurs sur l'origine de l'électricité dégagée. C'est ce que M. Becquerel a fait voir, en répétant les expériences desquelles Davy avait cru pouvoir conclure que les métaux prennent l'électricité positive dans leur contact avec les acides, et l'électricité négative dans leur contact avec les alcalis, les acides et les alcalis prenant les électricités contraires à celles des métaux. Davy opérait avec des acides et des alcalis solides, tels que l'acide oxalique, l'acide succinique et l'acide boracique, la chaux sèche, la magnésie ou la strontiane; les métaux étaient du cuivre, du zinc, de l'étain tenus par des manches isolants. Ces faits, d'où Davy avait cru pouvoir tirer des conséquences importantes sur la nature de l'électricité inhérente aux acides et aux bases, étaient uniquement des effets de frottement, comme Becquerel l'a prouvé. Il a adapté à un électroscope bien sensible un condensateur formé de disques en platine; il n'a jamais obtenu aucun effet en plaçant sur l'un des plateaux du condensateur un morceau de chaux bien sèche tenu entre les doigts, et en touchant l'autre plateau également avec le doigt. Il a ensuite placé le morceau de chaux sur une planche de bois bien sec, puis il a posé dessus, avec précaution, sans exercer de frottement, un disque de cuivre tenu par un manche isolant; il l'a retiré, puis mis en contact avec l'un des plateaux du condensateur, touchant l'autre avec le doigt. En répétant un certain nombre de fois des contacts semblables, il n'a jamais obtenu de charge électrique; mais si, au lieu de poser

ue de cuivre sur la chaux avec précaution, on le pose rottement, on parvient à charger le condensateur après ıit nombre de contacts; la charge entière est d'autant ıarquée que le frottement a été plus fort; la chaux prend ricité positive et le métal la négative. En substituant à ux l'un des acides mentionnés ci-dessus, on obtient égale- ar le frottement et non par le simple contact, une charge ricité; dans ce cas le métal prend l'électricité positive et la négative. Il est donc bien démontré que les résultats ıs par Davy sont dus à des effets électriques de frotte- et non à l'action électromotrice de Volta.

ıalyse que nous venons de faire des effets électriques manifestent dans le contact de deux corps solides, con- a conséquence que nous avions tirée de faits d'un tout ordre, savoir que, dans un couple voltaïque, l'origine de ricité n'est pas dans le contact des deux métaux qui for- e couple. Elle est donc dans l'action qui a lieu au con- liquide et des métaux. Voici une expérience intéressante ıier, qui montre d'une manière évidente où est le siége de ne de l'électricité dans un couple.

plonge dans deux vases séparés et bien isolés, remplis me liquide, les extrémités d'un couple zinc et cuivre 27). On immerge d'abord le bout d'un fil de platine *d* dans

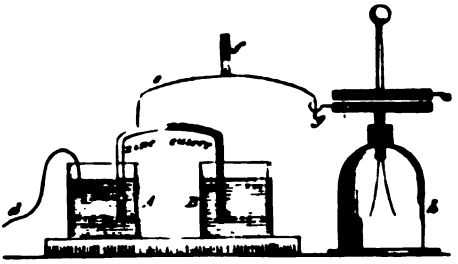


Fig. 327.

A qui a reçu le zinc, et l'autre bout du fil communique . Au moyen d'un autre fil de platine *e*, que l'on tient ar un manche de gomme laque *f*, on met successive- en communication le zinc, le cuivre et le liquide du qui a reçu le cuivre, avec un des plateaux condensa-

teurs *g* d'un électromètre *h*. D'après cette disposition, le liquide ne peut posséder d'électricité libre, puisqu'il communique au sol, et le zinc ne devrait pas en posséder davantage, puisque la force électromotrice, suivant la théorie de Volta, est au contact du zinc et du cuivre. Ce n'est point ainsi que la distribution s'effectue; le liquide du vase A est neutre, mais le zinc, le cuivre et le liquide B sont négatifs au même degré. On place ensuite le bout *d* du fil de platine, communiquant au sol, dans le vase B, et l'on interroge de la même manière, au moyen du fil de platine isolé *e*, le cuivre, le zinc et le liquide du vase A, qui est alors isolé. Le liquide de B est nécessairement neutre, ainsi que le cuivre qui y est plongé, mais il en est de même du zinc, qui est également neutre; l'eau seule du vase A est positive. Cette expérience prouve donc que l'électricité n'est pas produite au contact des deux métaux, mais bien au contact entre le liquide acidulé A et la portion du zinc qui y est immergée.

Les partisans de la théorie du contact ont donc été amenés à établir, que c'est dans le contact des liquides et des solides que réside la principale source de l'électricité, mais sans reconnaître encore que l'action chimique qui a lieu entre le solide et le liquide fût la cause de l'électricité dégagée, admettant qu'elle en est simplement l'effet. De nombreuses expériences ont été faites sur la production de l'électricité qui a lieu dans le contact des solides et des liquides; nous avons déjà cité celles de Becquerel qui sont les plus anciennes, et celles de Karsten et de Buff. Nous rappellerons que celles de Becquerel consistaient à placer sur le plateau du condensateur une capsule métallique, qu'on remplissait de différents liquides dans lesquels on plongeait divers métaux tenus entre les doigts. Quand la capsule était de platine, quel que fût le métal employé et quelle que fût la dissolution acide ou alcaline, le liquide se chargeait toujours d'électricité positive qui, à travers la capsule de platine, allait charger le condensateur. Quand la capsule était de cuivre, elle prenait l'électricité positive si, la dissolution étant acide ou alcaline, les métaux plongés étaient le zinc ou le fer; elle prenait la négative si, dans les mêmes dissolutions, les métaux

rgés étaient le platine, l'or ou l'argent. Tous ces effets sont itement d'accord avec la théorie chimique. Quant aux faits vés par M. Karsten, ils rentrent aussi dans la même théorie ; nous ne nous arrêtons pas à ceux qui, du même genre es résultats obtenus par Becquerel, ont déjà été également t de notre examen ; les autres ont été obtenus en combi- l'électricité produite par l'immersion de couples zinc et e, dans des liquides plus ou moins acides, avec celle oppée sur des condensateurs dont l'un des plateaux était nc et l'autre de cuivre. Il en résulte des effets plus ou s complexes, dont l'explication se trouve facilement au n des principes que nous avons établis dans ce qui pré- , et sur lesquels il est par conséquent inutile d'insister. arquons seulement que la force électromotrice ou polari- qui naît du contact d'un métal, comme le zinc, avec de la le vapeur d'eau, peut lutter avec celle qui naît du contact ème métal avec de l'eau pure, mais est inférieure à celle e manifeste quand l'eau est acide, alcaline ou salée. Ce ipe important ne doit pas être perdu de vue quand on he à concilier, avec la théorie chimique, des faits tels que ques-uns de ceux observés par Karsten, qui ont été souvent n avant comme contraires à cette théorie.

rmi les physiciens qui se sont beaucoup occupés de l'élec- é dégagée dans le contact des solides et des liquides, nous s cité M. Péclet. Ce physicien opérait soit avec un conden- r ordinaire, soit, pour les cas où l'électricité était faible, son condensateur multiplicateur que nous avons décrit [1]. chait le plateau supérieur avec le métal et recueillait tricité de l'inférieur, de sorte que l'électricité donnée par tal était de signe contraire à celle qui était perçue. Pour l'action du même liquide sur le métal, il prenait cha- métal entre ses doigts après les avoir humectés successive- avec chacun des liquides. Voici un tableau qui renferme sultat de ses expériences. Nous l'avons choisi parmi tous qui ont été dressés sur ce même sujet, par divers physi- s, comme le plus exact et le plus complet.

[1] Tome I, page 104.

	ZINC.	MERCURE.	PLOMB.	ÉTAIN.	FER.	ANTIMOINE.	BISMUTH.	CUIVRE.	NICKEL.	ARGENT.	PLATINE.	OR.	CHARBON.	PEROXYDE DE MANGANÈSE.
Eau pure.	+26	+26	+17,5	+15	+11,5	+ 8,7	+ 7,3	+ 7,3	+10	»	»	»	»	—15
Acide sulfurique étendu. .	+27	+27	+14	+16	+13	+ 7	+ 4	+ 2,5	+ 3	»	— 6	— 4	— 3	—20
Acide nitrique étendu. . .	+26	+21	+13	+12	+ 8	+ 1	+ 1	»	+ 0,5	— 2	— 4	— 4	— 3	—21
Acide chlorhydrique. . .	26	+20	+13	+12	+11	+ 5	+ 5	+ 5	+ 6	— 3	— 2	— 0,3	— 4	—21
Eau régale.	+27	+16	+15	»	+12	+ 6	+ 3	+ 3	+ 4	+ 2	— 4	— 4	— 4	—19
Dissolution de potasse. .	+30	+28	+24	+28	+19,5	+21,3	+17	—11,5	+10	+ 3,5	+ 5	+ 5	+ 4	— 7
Ammoniaque.	+38	+26	+22	+22	+13	+16	+10,5	+11,5	+ 8	+ 3,5	+ 4	+ 4	+ 3	— 4
Sulfhydrate de potasse. .	+30	+35	+17,5	+24	+17,5	+20	+18	+22,5	+20	+22,5	+17	+17	+13	+ 5
Dissolution de sel marin.	+25	+22	+14	+15	+15	+ 7	+ 6	+ 6	+ 6	+ 2,5	»	— 4	— 2	—13
Alcool.	+26	+22	+13,5	+13,5	+ 6,5	+ 7	+ 4	+ 5	+ 3	»	»	»	»	—9,15
Huile d'olive.	+35	+12,5	+20	+ 0	+ 9	+10	+ 7,5	+ 7,5	+ 5	»	»	»	»	—10
Huile de naphte.	+24	+12,5	+13,5	+14,5	+10	+ 7,5	+ 9	+ 8,5	+ 4,5	»	»	»	»	—11

On voit, d'après ce tableau, qu'en général, sauf de rares exceptions, l'électricité perçue était toujours positive, ce qui indique que celle donnée par le métal au condensateur était négative, et que, par conséquent, ce métal était attaqué par le liquide dont les doigts étaient humectés. Le peroxyde de manganèse présente seul une exception, mais elle tient, comme nous l'avons dit, à ce que l'action chimique qui a lieu dans son contact avec les liquides est une désoxydation, et par conséquent doit produire une électricité contraire à celle qui résulte de l'oxydation[1]. L'argent, le platine, l'or et le charbon ont donné aussi, avec l'eau acidulée, des signes électriques contraires à ceux qu'aurait produits leur oxydation si elle avait lieu; ces signes sont, il est vrai, très-faibles, et il a fallu pour les percevoir le secours du condensateur multiplicateur. Ils sont évidemment le résultat de l'action qu'exerce sur les doigts eux-mêmes le liquide légèrement acide dont ils sont humectés, action qui n'est pas contre-balancée, dans le cas où les métaux sont peu ou point oxydables, par celle que ces métaux eux-mêmes éprouvent. L'électricité positive, prise par l'eau acidulée dans son action sur le doigt, se transmet, par l'intermédiaire du métal, au plateau supérieur du condensateur, et charge l'inférieur d'électricité négative, comme le montre l'expérience.

Les effets obtenus avec l'alcool, et surtout avec l'huile d'olive et l'huile de naphte, paraissent au premier moment surprenants, vu la nature de ces substances, mais il est évident qu'elles ne mouillent pas les doigts suffisamment pour former une couche isolante; sans cela, il n'y aurait pas de signes électriques, puisqu'il n'y aurait pas communication avec le sol; ces huiles forment probablement avec la transpiration alcaline dont les doigts sont en général humectés, un composé qui

[1] Il n'y a qu'un cas où le peroxyde de manganèse transmette au plateau supérieur de l'électricité négative, et par conséquent de la positive à l'inférieur; c'est celui où il est en contact avec le sulfhydrate de potasse. Cela tient à la nature particulière de l'action chimique qui a lieu dans ce cas, action probablement assez compliquée, parce qu'il y a à la fois décomposition du peroxyde et du sulfhydrate.

est conducteur et qui agit sur les métaux; action qui est bien loin d'être nulle, ainsi qu'on s'en assure tous les jours en observant les rouages métalliques qui sont imprégnés d'huile.

Remarquons, en passant, que dans les effets électriques de contact on a eu tort de ne pas tenir en général assez compte, lorsqu'il s'agit surtout de signes électriques aussi faibles, de l'électricité qui résulte des actions chimiques exercées *sur* et *par* les doigts qui servent dans les expériences. Nous avons déjà remarqué le côté important que joue cette action dans le dégagement de l'électricité qu'on obtient en touchant un condensateur par un métal tenu entre les doigts; nous venons de voir dans les expériences de Péclet l'effet qui résulte de l'action sur les doigts de certains liquides. Nous verrons plus tard, en nous occupant de l'électricité animale, combien il est important d'avoir égard à cette cause de production de l'électricité, si l'on veut éviter de tomber dans de graves erreurs.

Nous avons dit que M. Buff avait fait aussi de nombreuses recherches sur l'électricité développée dans le contact des métaux et des liquides. Nous avons déjà parlé des effets de cette nature qu'il avait obtenus dans les expériences où il avait démontré que l'évaporation n'est pas elle-même une source d'électricité, mais qu'elle ne sert qu'à rendre plus perceptible par la faculté conductrice de la vapeur formée, l'électricité dégagée par l'action d'un liquide sur un métal. Comme Karsten, il avait remarqué qu'en recueillant l'électricité négative provenant d'un fil de zinc immergé dans le liquide avec un condensateur en zinc, il obtenait moins d'effet que lorsque le conducteur était en cuivre, ce qui tient, comme nous l'avons dit, à l'opposition des deux forces électromotrices exercées l'une par la solution sur le zinc qui y est immergé, et l'autre par l'air humide sur le plateau de zinc. En plaçant successivement sur des condensateurs faits de métaux divers, des liquides de différentes natures, il avait obtenu des résultats analogues à ceux de Becquerel et de Péclet, et il en avait tiré des conséquences tout à fait en opposition avec la loi de la série voltaïque des tensions électriques. Il avait été amené ainsi à lier la force électromotrice à l'affinité chimique du métal pour le radical du liquide composé

e lequel il est en contact, et par conséquent à voir dans le eloppement de l'électricité voltaïque un phénomène chi- que, et non un simple effet de contact.

En résumé, il nous paraît résulter des nombreuses recher- s qui ont été faites sur la cause de l'électricité voltaïque, herches dont nous n'avons pu donner qu'un extrait som- aire, que, pour que cette électricité soit développée aussi bien s la forme statique que sous la forme dynamique, il faut il y ait une relation chimique entre les corps en contact, tion telle que l'un d'eux puisse entrer en combinaison avec tre, ou du moins avec l'un des éléments de l'autre.

nous reste maintenant à démontrer que les piles sèches ont point une exception à ce principe, et que c'est bien ion chimique et non le contact, comme on l'a prétendu, est l'origine de leur pouvoir électrique.

ous avons déjà décrit sommairement les piles sèches [1]; nous tons à ce que nous avons déjà dit sur ce sujet, que l'idée amentale des piles sèches reposait sur la théorie voltaïque a pile. On espérait trouver, pour séparer les couples, un con- teur à la fois non liquide et non électromoteur, de telle façon la pile aurait continuellement donné de l'électricité sans érer sensiblement; c'était, disons-le franchement, chercher éaliser l'idée du mouvement perpétuel, que d'espérer pro- re une force constante par un simple arrangement de sub- ces sans dépense ou travail correspondant. Aussi les résul- ont été aussi pauvres que le principe était vicieux. On a des piles dont la puissance pouvait durer très-longtemps, t en ayant pourtant un terme, mais était en même temps limitée, puisque ces piles ne donnaient que des effets de sion et étaient incapables de produire des courants, sauf s quelques cas exceptionnels.

a première pile sèche fut construite par Behrens en 1805; se composait de 80 couples de zinc, cuivre et papier doré; e, en 1810, fit plusieurs essais du même genre, et arriva à ir 800 couples formés avec des disques mêmes de fer étamé

[1] Tome I, page 51.

et du papier doré; le fer-blanc et la dorure du papier formaient les deux métaux du couple, et le papier en était le conducteur humide. Cette pile faisait diverger fortement à ses pôles les feuilles d'un électroscope. Enfin Zamboni, en 1812, construisit la pile sèche suivant le mode qui a été généralement adopté, c'est-à-dire en la formant de la superposition d'un très-grand nombre de disques faits de papier, recouverts sur une de leurs faces d'une mince couche d'étain, et sur l'autre d'une couche de peroxyde de manganèse en poudre fine, fixée sur le papier par du miel ou de la colle d'amidon. Une pile formée de 2000 couples de cette espèce donne de petites étincelles, peut charger une bouteille de Leyde, etc. Avec des piles semblables, placées verticalement l'une à côté de l'autre, à une petite distance et de façon que leurs pôles opposés soient en regard, on peut imprimer un mouvement continu de va-et-vient à un petit pendule isolé qui oscille entre les deux pôles contraires. Toutes les piles sèches, avons-nous dit, perdent de leur puissance avec le temps; mais celles qui durent le plus longtemps, tout en étant moins fortes que celles de Zamboni, sont les piles construites avec des disques superposés, de faux papier d'argent et de faux papier d'or. Il faut coller ensemble, par la face où le papier est à nu, les disques d'espèces différentes, tellement qu'en les superposant on ait, par exemple, faux or, papier, faux argent, faux or, papier et ainsi de suite, en ayant soin d'observer toujours le même ordre. On attache les disques ensemble au moyen de cordons faits d'une soie bien pure, afin qu'elle soit bien isolante et bien imprégnée de verni; on peut aussi élever la pile entre des tiges de verre vernies, et la serrer au moyen de vis, en l'enfermant dans des tubes de verre vernis, dont le fond sur lequel repose le premier disque soit métallique, tandis que le dernier disque est pressé par une vis métallique, terminée extérieurement par une boule. La grandeur des disques influe sur la vitesse avec laquelle la pile se charge, mais est sans influence sur la tension de ses pôles. M. Riess, avec quatre piles de ce genre, de 2230 couples chacune de $2^{cc}\cdot 8$ de diamètre, obtenait en moyenne, en les plaçant les unes à côté des autres, de manière que leurs pôles con-

res fussent en regard, 96 petites étincelles de $\frac{1}{8}$ de millim. ongueur, par minute. Quatre mois après qu'elles avaient construites, elles ne donnaient plus que 48 étincelles dans minute. Jager et Singer, qui se sont beaucoup occupés des sèches, étaient parvenus non-seulement à produire par moyen de forts mouvements d'attraction et de répulsion que des étincelles, mais aussi à charger des bouteilles de e; toutefois, ils n'avaient pas réussi à obtenir des décomions chimiques ni des effets de déviation sur l'aiguille ntée ou des contractions de la grenouille convenablement arée. Cependant, Dubois-Reymond a obtenu ces deux dergenres d'effet avec une pile de 1800 disques, semblable este à celles dont Riess s'est servi. Il fallait que la grelle fût fraîchement préparée, et, quant au multiplicateur, it de 24160 tours, et il n'accusait qu'une déviation de ques degrés. Riess, de son côté, a décomposé de l'iodure de ssium, du sulfate de soude et du nitrate de baryte avec vieille pile sèche de petite dimension.

. Peltier, et plus tard M. Delezenne, ont obtenu facilement composition de l'eau, au moyen des piles sèches, en donà leurs disques une grande surface, de manière à dimiainsi la résistance. M. Delezenne, en particulier, s'est de piles de 2000 couples, chaque couple étant un ngle de 318 millim. de longueur sur 176 de largeur. couples de ces piles étaient de papier étamé d'un côté, et uvert sur son autre face de peroxyde de manganèse délayé de la gélatine en fusion. Si le nombre des couples est considérable, on obtient des étincelles, mais on n'a ni s calorifiques ni décompositions, d'après M. Peltier; cepen- Delezenne a facilement décomposé l'eau avec des piles 800 et de 4000 couples. Le même physicien a fait un d nombre d'expériences, pour démontrer la nécessité le papier des disques ne soit pas trop sec; il les a hués avec de l'eau salée, de manière à obtenir la prée du sel, qui, en maintenant leur humidité, augmentait pouvoir électrique, puis il a desséché fortement les en les plaçant dans des fours, ce qui au premier abord

augmentait leur puissance probablement à cause de la fusion de la colle de gélatine, mais ce qui la réduisait ensuite beaucoup, la colle étant redevenue solide par l'effet de l'absence de l'humidité. Enfin, il a vu que pour maintenir un pouvoir un peu considérable à la pile, il fallait renouveler de temps à autre la couche de peroxyde de manganèse qui, évidemment, se désoxydait, et il a aperçu que la face étamée s'oxydait légèrement.

Tous les observateurs sont d'accord à reconnaître que l'humidité est nécessaire pour conserver aux piles sèches leur activité. Une expérience d'Ermann, confirmée par Jager et par Parrot, le prouve d'une manière évidente. Une pile sèche bien active, ayant été mise dans un vase dont on avait complétement desséché l'air par du chlorure de calcium, a entièrement perdu sa force dans quelques heures, et l'a reprise ensuite dans de l'air humide. Parrot a fait un grand nombre d'expériences dans lesquelles les piles sèches ont été rendues alternativement inactives ou actives, suivant qu'on les plaçait dans de l'air desséché ou humide. Toutefois, il ne faut pas conclure de ce que l'humidité est indispensable à la pile sèche pour produire son effet électrique, que c'est dans de l'air très-humide que cet effet est le plus fort, car il y a alors un défaut d'isolement qui nuit aux manifestations électriques.

Ajoutons que Jager a construit des piles sèches en interposant entre les couches métalliques en contact des couches de résine ou de taffetas; mais ces piles ne sont qu'une série de condensateurs qui n'ont aucun rapport avec la pile proprement dite, et pour l'action desquelles il faut néanmoins toujours l'humidité de l'air.

Watkins est parvenu à construire encore une pile sèche avec un seul métal présentant, il est vrai, deux surfaces différentes. Elle est composée de 60 à 80 plaques de zinc de 4 pouces carrés de surface environ, décapées et polies sur une de leurs faces et non sur l'autre. Elles sont fixées dans une auge de bois, parallèlement entre elles à 1 millimètre seulement de distance les unes des autres, les faces polies étant tournées toutes du même côté. Les deux extrémités ou pôles de cette pile donnent

signes électriques de tension très-prononcés, de nature à iquer que la face polie joue le rôle de métal positif, et la olie celui de métal négatif. L'humidité de l'air favorise le eloppement de l'électricité dans cette pile, dans laquelle la che mince d'air qui sépare les plaques joue, comme le papier ns les piles sèches ordinaires, le rôle de conducteur humide, qui est parfaitement d'accord avec la manière dont nous ns expliqué le dégagement de l'électricité dans les condenurs dont l'un des plateaux est de zinc et l'autre de cuivre, de zinc recouvert d'une couche de vernis assez épaisse pour l'air ne puisse pénétrer jusque sur sa surface.

n'est pas nécessaire d'insister longtemps, pour montrer que piles sèches sont toutes également des appareils dans les-ls le développement de l'électricité est dû à une action chi-que exercée par le papier, comme par l'air humide, sur les tances dont la réunion constitue les couples. Quant à la re des effets qu'elles sont susceptibles de produire, elle end surtout de la résistance à la conductibilité très-considé-le que ces piles présentent, plus encore que de leurs forces romotrices qui sont passablement énergiques. Ces piles ont de rapports avec les piles à eau, telles que celle de Gassiott 620 couples, lesquelles ont beaucoup de tension, mais ne ment pas des effets dynamiques très-considérables à cause grande résistance qu'elles présentent à la circulation du rant. Or, comme nous l'avons vu, Gassiott a très-bien établi torie chimique de sa pile à eau, et de même que la présence l'humidité est nécessaire à la pile sèche pour être en activité, même la présence de l'air, ou plutôt de l'oxygène, est indis-nable à la pile à eau, parce que de même que l'air sec ne agir chimiquement sur la plupart des métaux, de même privée d'oxygène est également sans action; preuve, dans deux cas également, de la nécessité d'une action chimique.

. Rapports entre l'électricité et les actions chimiques. — Théories électrochimiques.

Considérons une pile voltaïque dont le circuit fermé ren-

ferme un voltamètre ; supposons que cette pile soit celle de la figure 310, construite de façon qu'on recueille l'hydrogène dégagé à chaque couple, et qu'on puisse évaluer la quantité de zinc oxydé. Deux ordres de phénomènes se présentent à nous dans ce circuit : une action chimique équivalente exercée partout où il y a un liquide conducteur et susceptible d'être décomposé, une production d'électricité qui se manifeste extérieurement par l'influence qu'exercent sur une aiguille aimantée toutes les parties du circuit. La disposition donnée aux diverses parties métalliques et liquides qui composent la pile, permet à la fois l'exercice de l'affinité et la production de l'électricité qui l'accompagne. Il est évident que l'origine de ces deux forces est dans la surface de contact des zincs et du liquide, et que l'action chimique équivalente qui a lieu dans le voltamètre n'est que le résultat de l'action à distance de l'affinité. En effet, une fois que toutes les parties du circuit, les solides aussi bien que les liquides, sont polarisées par l'action combinée de tous les zincs sur le liquide électrolytique qui les baigne, il faut, pour que la décharge ait lieu et que l'eau soit décomposée entre les métaux de chaque couple, qu'elle le soit aussi entre les deux électrodes de platine du voltamètre ; autrement le circuit ne serait pas fermé. Mais il y a là une résistance à vaincre, puisque par eux-mêmes les deux électrodes sont sans action sur le liquide du voltamètre. Cette résistance est surmontée par la force électromotrice dont l'intensité dépend de la nature relative des liquides et des métaux des couples, et du nombre de ces couples. Il est vrai qu'elle varie aussi pour une même force électromotrice, avec la nature du métal dont sont faits les électrodes du voltamètre. Il est clair que si l'électrode positif est de zinc, le négatif restant de platine, non-seulement il n'y a plus de résistance, mais il y a un accroissement de la force électromotrice, puisqu'il y a un couple de plus. Si les électrodes sont tous les deux de zinc ou d'un même métal oxydable, il semble que la résistance doive être la même qu'avec les électrodes de platine, parce que les deux zincs tendent à polariser le liquide électrolytique dans des directions contraires, avec une même intensité, et que par conséquent leur effet, sous le rapport de la

ilité apportée à la décomposition du liquide, s'annule. Cependant les choses ne se passent pas ainsi, et cela tient à ce que ygène qui se dégage à l'électrode positif, au lieu de former, mme sur le platine, une couche adhérente qui gêne le passage . courant et produit une polarité secondaire, se combine avec métal de l'électrode en formant un oxyde qui se dissout. nt à l'hydrogène qui se dégage à l'électrode négatif, il est général également absorbé par la réduction de cet électrode i est le plus souvent oxydé, ou par sa combinaison sous l'inence de l'électrode avec l'oxygène dissous. Toutefois, c'est surt à l'électrode positif que se fait sentir l'avantage, pour la pagation du courant dans le circuit, de prendre pour cet trode une substance capable de se combiner avec l'élément liquide électrolytique qui s'y dégage, en formant avec lui composé soluble dans ce liquide.

l y a donc dans un circuit voltaïque, dont le voltamètre fait tie, décomposition de l'eau dans chacun des couples et dans voltamètre. Ces deux ordres de décomposition sont également le résultat de l'affinité pour l'oxygène du métal positif du ple. Si cette affinité est très-forte, comme celle du potassm ou du sodium, un seul couple amalgamé de potassium eau acidulée avec acide sulfurique suffit pour décomposer au acidulée du couple et la même eau placée entre deux ctrodes de platine; en effet, l'affinité ne peut, d'après l'arrangement du circuit, s'exercer qu'autant que le liquide du couple celui du voltamètre sont décomposés tous les deux. Si elle est oins forte, comme c'est le cas, quand, au lieu de potassium, a du zinc, alors il faut ajouter à celle qui est exercée par couple celle d'un second ou d'un troisième pour décomser le liquide du voltamètre. Si nous supposons donc, ce qui alt probable d'après toutes les expériences, que dans un ple où il n'y a qu'un métal actif, la force électromotrice est portionnelle à l'affinité de ce métal pour l'un des éléments liquide électrolytique du couple[1], on aura dans le nombre

[1] Il ne faut pas oublier en effet que la force électromotrice d'une combinaison taique est proportionnelle au nombre de couples qu'on forme avec cette combinaison.

des couples nécessaires pour vaincre une affinité donnée (celle de l'oxygène et de l'hydrogène d'une eau acidulée toujours au même degré), une expression assez exacte de la force d'affinité.

Il est à remarquer que la combinaison voltaïque doit toujours être de telle nature que, lorsque les deux métaux du couple sont réunis par un conducteur métallique, le liquide qui les sépare soit décomposé par l'affinité de l'un de ses éléments pour l'un des métaux; autrement on aurait beau en ajouter un nombre quelconque les uns aux autres, on n'obtiendrait jamais ni courant ni décomposition de l'eau dans le voltamètre. Il est important que le liquide dont est chargé le voltamètre soit toujours parfaitement le même; car s'il changeait de telle manière qu'il fût plus ou moins facile à décomposer, on comprend que la comparaison entre les différentes combinaisons voltaïques au point de vue de la force électromotrice, et par conséquent de l'affinité, serait impossible. Il est nécessaire aussi que, dans les couples eux-mêmes, l'un des métaux soit toujours inactif, car autrement les résultats deviendraient complexes. Ainsi, avec les couples cuivre et zinc dans l'acide sulfurique étendu, on aurait la mesure, non de l'affinité de l'oxygène pour le zinc, mais de la différence entre l'affinité de l'oxygène pour le zinc et celle de l'oxygène pour le cuivre. Avec des couples platine couverts de peroxyde de plomb et zinc dans l'acide sulfurique étendu, on aurait la mesure de la somme de l'affinité de l'oxygène pour le zinc et de l'hydrogène pour l'oxygène du peroxyde.

M. Cooke a essayé d'appliquer la méthode que nous venons d'exposer; seulement, il mesurait la force électromotrice de chaque combinaison voltaïque en plaçant dans le circuit dont elle faisait partie un tube rempli de sulfate de cuivre dont on pouvait allonger ou raccourcir la colonne liquide de manière à amener, au moyen de cette résistance variable, chaque combinaison à produire le même effet sur un galvanomètre placé dans le même circuit. La force électromotrice, et par conséquent l'affinité, était déduite de la comparaison des longueurs de la colonne liquide dans chaque cas, d'après les lois de Ohm. M. Cooke, en prenant diverses précautions pour tenir compte

polarisation de la lame de platine du couple, a obtenu les
res suivants pour l'expression de la force relative d'affinité
vers métaux pour l'oxygène dans l'eau de pluie, en pre-
pour unité la force électromotrice d'un couple zinc-
: dans la même eau de pluie, force qui représente la
ence entre les affinités du zinc et du cuivre pour l'oxy-

Zinc-cuivre.	= 1
Potassium.	= 3,13
Sodium.	= 2,94
Zinc.	= 2,23
Fer.	= 1.85
Étain.	= 1,78
Plomb.	= 1,70
Bismuth.	= 1,29
Antimoine.	= 1,29
Cuivre.	= 1,25
Argent.	= 0,83

Cooke a également trouvé, pour l'expression de l'affinité
ygène pour l'hydrogène, le nombre 2,36; on peut être
: que ce nombre soit supérieur à celui qui exprime l'affi-
e l'oxygène pour le zinc, et que cependant le zinc décom-
'eau. Mais il faut remarquer que le zinc parfaitement pur
'compose pas l'eau distillée privée d'oxygène, et que, par
quent, le résultat de M. Cooke n'est point en opposition
elui qui résulte de l'examen des réactions chimiques du
ar l'eau.

ıs ne saurions toutefois attacher encore une grande con-
aux nombres trouvés par M. Cooke, quoique l'ordre dans
les métaux sont rangés nous paraisse bien représenter
egré d'affinité pour l'oxygène; tout en croyant vrai le
pe sur lequel sa méthode est fondée, il y a encore bien des
à éclaircir et des données à déterminer avant de pouvoir
er des nombres qui expriment d'une manière un peu
les rapports d'affinité des différents corps les uns avec
tres.

n des plus essentiels parmi ces points, est de savoir dans

quelle condition il faut que s'exerce l'action chimique pour qu'il y ait production d'électricité. Quand on décompose l'eau par l'action du zinc, il s'opère deux phénomènes, l'un la décomposition même de l'eau, l'autre l'oxydation du zinc. Or, quelques physiciens, et M. Matteucci entre autres, prétendent que c'est dans le premier des phénomènes seulement qu'il y a dégagement d'électricité et non dans le second. Il rappelle que Davy n'a jamais pu obtenir le moindre signe d'électricité en faisant brûler du fer ou du charbon dans l'oxygène bien sec; il a lui-même constaté l'exactitude de ce résultat négatif, soit dans ses expériences sur l'électricité dégagée dans la combustion dont nous avons parlé dans le § 4, soit en brûlant du fer et du zinc dans l'oxygène, soit en combinant différents métaux avec le chlore gazeux. Il n'a obtenu dans aucun cas des effets électriques. Il a de plus trouvé qu'en faisant agir directement du chlore, du brome ou de l'iode sur le métal positif d'un couple, le zinc par exemple, plongé dans un liquide séparé par un diaphragme poreux du liquide où plonge le métal négatif, on n'augmente nullement la force du courant, quoique le zinc soit attaqué par le chlore, le brome ou l'iode. Il n'en est pas de même, comme on le sait, si le chlore, le brome ou l'iode se trouvent dans le liquide du métal négatif, parce qu'alors la décomposition de l'eau est facilitée. De même que la combinaison de deux éléments libres ne produit pas de signes électriques, de même la décomposition d'un composé binaire, sans qu'il y ait recombinaison de l'un de ses éléments, n'en produit pas non plus, suivant M. Matteucci. Ainsi, de l'oxyde de même que du bioxyde d'argent, du peroxyde de plomb et du chlorure d'or, projetés sur un creuset de platine fortement chauffé et en communication avec le condensateur, n'ont point produit d'électricité; ni l'élément resté dans le creuset, ni celui qui s'en échappait, ne se trouvaient électrisés. De ces faits et d'autres du même genre, M. Matteucci avait cru pouvoir conclure que la combinaison d'un corps simple métalloïde avec un métal ne produit point d'électricité, ni à l'état dynamique, ni à l'état statique; que, par conséquent, dans les couples de la pile, l'effet électrique tient à ce que le métalloïde faisait partie

d'une combinaison avant de se combiner avec l'un des métaux du couple.

M. Becquerel ne partage pas la manière de voir de M. Matteucci; il pense que les résultats, négatifs dans le cas de la combustion de divers corps, tiennent à ce que, le milieu ambiant étant isolant, les électricités produites dans l'action chimique ne peuvent s'y propager comme lorsque ce milieu est un liquide, et qu'alors elles se recombinent à mesure qu'elles sont développées, de sorte qu'elles ne sont pas perceptibles. Il a de plus montré qu'une dissolution iodurée ou chlorurée augmente l'intensité du courant d'un couple, aussi bien quand elle se trouve dans le compartiment où est le zinc du couple, que lorsqu'elle est placée dans celui où est le cuivre; les dissolutions essayées soit à l'état naturel, soit à l'état ioduré ou chloruré, étaient une dissolution de nitrate de potasse et une dissolution de potasse. Il ne nous paraît pas que ces dernières expériences invalident les conclusions de M. Matteucci, car rien ne nous prouve que l'iode ou le chlore des dissolutions agissent directement sur le zinc; il nous paraît plutôt probable qu'elles facilitent son oxydation en aidant la décomposition de l'eau des dissolutions.

Le point sur lequel M. Becquerel me semble avoir raison, c'est lorsqu'il affirme que la simple combinaison d'un oxyde et d'un acide produit de l'électricité, comme il l'a prouvé dans ses nombreuses expériences sur l'action mutuelle de deux dissolutions séparées l'une de l'autre par une membrane poreuse, et en particulier, dans son couple si remarquable potasse et acide nitrique. Nous savons, en effet, et nous avons prouvé qu'il ne faut pas aller chercher la cause de l'électricité développée, ailleurs que dans l'action chimique des deux dissolutions l'une sur l'autre; nous devons même ajouter que cette action contribue au dégagement de l'électricité dans la pile à deux liquides. Ainsi, il n'y a pas de doute que, lorsqu'on a un couple zinc sulfate de zinc et cuivre sulfate de cuivre, l'action mutuelle des deux sulfates, séparés l'un de l'autre par le diaphragme poreux, ne contribue à l'effet total. Si nous n'y avons pas eu égard, c'est que nous avons pris l'effet du couple dans son ensemble, et que d'ailleurs, l'électricité développée dans cette action est

faible, comparativement à celle qui résulte de l'oxydation du zinc par la décomposition de l'eau.

Admettant donc que la combinaison d'un oxyde avec un acide produise de l'électricité, nous ne voyons pas cependant dans ce fait une objection contre le principe de M. Matteucci. En effet, cette combinaison se fait peut-être d'une manière moins simple qu'on ne le pense ; quant à moi, je suis disposé à croire qu'elle est précédée ou accompagnée d'une décomposition. Nous savons en effet que, dans la décomposition des sels, l'élément qui va à l'électrode négatif n'est pas l'oxyde, mais le métal de l'oxyde, le sodium par exemple, s'il s'agit d'un sel de soude ; et que celui qui va à l'électrode positif n'est pas l'acide seul, mais un composé de l'acide et de l'oxygène de la base. Or, cela nous prouve que très-probablement, dans la combinaison d'un acide et d'une base, il y a une décomposition, peut-être de la base, peut-être de l'eau de la dissolution, dont l'oxygène se porte à l'acide pendant que son hydrogène s'empare de l'oxygène de la base dont le métal se combine avec l'acide oxygéné. Il doit se passer dans cette action un phénomène analogue à celui qui a lieu dans la formation des chlorures par l'action de l'acide hydrochlorique sur les oxydes, car il est bien évident que dans les décompositions électrolytiques tous les sels se conduisent comme des chlorures dans lesquels le chlore est remplacé par un *oxisulfion*, si l'acide est de l'acide sulfurique, ou des composés semblables s'il s'agit d'autres acides [1].

Ajoutons qu'à la suite de nouvelles recherches dans lesquelles, au moyen de ses appareils de dépolarisation dont nous avons parlé plus haut, il a pu se mettre à l'abri des causes d'erreurs provenant des polarités secondaires des métaux qui servent d'électrodes dans les dissolutions, M. Becquerel est parvenu à des résultats généraux sur l'électricité produite dans les actions chimiques, qui confirment ceux qu'il avait déjà obtenus et que nous avons déjà énoncés dans nos précédents paragraphes ; il s'accorde avec Matteucci sur le point que.

[1] Il est prouvé par l'exemple des cyanures que des corps composés peuvent jouer exactement le même rôle que le chlore, le brome ou l'iode.

ıstant, quoique le résultat en soit bien incertain et bien
ɛ, car il ne s'agit que de l'affinité de l'oxygène et de
rogène. Nous avons déjà vu que Wheatstone et Pouillet
ɔt parvenus à comparer le courant qui résulte de la dé-
osition d'une certaine quantité d'eau, avec celui que pro-
un couple thermo-électrique d'une puissance donnée;
leur résultat, quoique démontrant la grande supériorité
ourant électro-chimique sur le courant thermo-élec-
e, ne donnait pas une idée de la quantité absolue d'élec-
é dégagée pour la production du premier. Faraday et
ıerel ont successivement essayé d'évaluer cette quantité.
aday a observé que le courant nécessaire pour décom-
un grain d'eau acidulée est suffisant pour maintenir à la
ır rouge, pendant le même temps qu'il a employé à dé-
ıser l'eau, savoir 3 minutes 45 secondes, un fil de platine
le millim. de diamètre. Or, il estime que la quantité
tricité qu'il faudrait employer pour produire le même
ıerait celle fournie par 800,000 charges d'une batterie de
lles de Leyde, composée de 8 jarres de 8 pouces de hau-
t de 7 pouces 1/2 de diamètre, chargée avec trente tours
teau d'une puissante machine électrique. Si telle est l'ex-
ɔn de la quantité d'électricité équivalente à celle qui est
aire pour décomposer un grain d'eau, cette expression
ssi celle de la quantité d'électricité que dégage la combi-
ı des quantités d'oxygène et d'hydrogène nécessaires pour
ire un grain d'eau ; quantité énorme comme on le voit.
Becquerel a trouvé, par une méthode toute différente, un
at qui ne s'éloigne pas beaucoup de celui de Faraday. Il
bord déterminé la force du courant que développent les
ités secondaires engendrées sur des lames d'or, qui ser-
d'électrodes dans l'eau distillée à des décharges de bou-
ı de Leyde; il a trouvé que, pour des décharges peu consi-
les, le courant, et par conséquent les polarités qui lui don-
naissance, sont proportionnelles à la distance explosive, et
onséquent à la quantité d'électricité qui passe dans l'eau où
ent les lames d'or. Puis, il a déterminé les polarités se-
ıires sur les mêmes lames d'or et dans l'eau distillée au

pèchent pas que le plus souvent l'oxydation ne s'opère comme nous venons de l'exposer.

Un autre point important dans les phénomènes électro-chimiques sur lequel les physiciens ne sont pas d'accord, c'est de savoir si les corps composés peuvent propager l'électricité sans se décomposer, à la manière des corps simples élémentaires tels que les métaux. Nous avons déjà traité cette question soit à l'occasion des expériences sur lesquelles est fondée la loi des équivalents électro-chimiques [1], soit incidemment, en montrant que jamais on n'a pu observer de transmission d'un courant électrique à travers l'eau, sans que les électrodes soient polarisés, preuve que l'eau est décomposée; et nous avons eu l'occasion de donner une explication des nombreuses et ingénieuses expériences par lesquelles M. Foucault avait cru pouvoir établir cette conductibilité physique des liquides. Nous croyons donc que dans l'état actuel de la science, et en face des faits connus, on est obligé d'admettre que la propagation moléculaire de l'électricité dans les corps liquides ne peut se faire sans être accompagnée, dans les liquides composés, de la décomposition électrolytique. Nous ne contestons pas que la propagation ne puisse se faire dans un liquide, surtout s'il est mauvais conducteur, par une décharge entre les électrodes, analogue à celle qui constitue l'étincelle électrique ou l'arc voltaïque, et dans laquelle le liquide ne joue qu'un rôle passif, celui d'obstacle à l'établissement de cette décharge; il arrive souvent alors que le liquide lui-même est décomposé par la chaleur de l'étincelle; mais ce fait n'est nullement en opposition avec le principe que, lorsque la propagation a lieu moléculairement, il y a décomposition électrolytique du liquide.

Parmi les questions nombreuses qui sont encore à résoudre dans le sujet qui nous occupe, l'une des plus importantes serait de savoir quel est le rapport qui lie la force d'affinité avec l'effet électrique que l'action de cette force engendre. Quelques tentatives ont été faites à cet égard; nous y avons fait allusion dans le § 6; nous croyons devoir nous y arrêter encore

[1] Tome II, pages 350, 616 et 640.

un instant, quoique le résultat en soit bien incertain et bien limité, car il ne s'agit que de l'affinité de l'oxygène et de l'hydrogène. Nous avons déjà vu que Wheatstone et Pouillet étaient parvenus à comparer le courant qui résulte de la décomposition d'une certaine quantité d'eau, avec celui que produit un couple thermo-électrique d'une puissance donnée; mais leur résultat, quoique démontrant la grande supériorité du courant électro-chimique sur le courant thermo-électrique, ne donnait pas une idée de la quantité absolue d'électricité dégagée pour la production du premier. Faraday et Becquerel ont successivement essayé d'évaluer cette quantité.

Faraday a observé que le courant nécessaire pour décomposer un grain d'eau acidulée est suffisant pour maintenir à la chaleur rouge, pendant le même temps qu'il a employé à décomposer l'eau, savoir 3 minutes 45 secondes, un fil de platine de $\frac{1}{4}$ de millim. de diamètre. Or, il estime que la quantité d'électricité qu'il faudrait employer pour produire le même effet, serait celle fournie par 800,000 charges d'une batterie de bouteilles de Leyde, composée de 8 jarres de 8 pouces de hauteur et de 7 pouces 1/2 de diamètre, chargée avec trente tours du plateau d'une puissante machine électrique. Si telle est l'expression de la quantité d'électricité équivalente à celle qui est nécessaire pour décomposer un grain d'eau, cette expression est aussi celle de la quantité d'électricité que dégage la combinaison des quantités d'oxygène et d'hydrogène nécessaires pour produire un grain d'eau; quantité énorme comme on le voit.

M. Becquerel a trouvé, par une méthode toute différente, un résultat qui ne s'éloigne pas beaucoup de celui de Faraday. Il a d'abord déterminé la force du courant que développent les polarités secondaires engendrées sur des lames d'or, qui servent d'électrodes dans l'eau distillée à des décharges de bouteilles de Leyde; il a trouvé que, pour des décharges peu considérables, le courant, et par conséquent les polarités qui lui donnent naissance, sont proportionnelles à la distance explosive, et par conséquent à la quantité d'électricité qui passe dans l'eau où plongent les lames d'or. Puis, il a déterminé les polarités secondaires sur les mêmes lames d'or et dans l'eau distillée au

moyen d'un courant provenant d'un couple très-faible formé d'un amalgame de zinc placé dans un tube poreux, et d'un fil de platine plongé dans l'eau distillée. Il s'est assuré que les polarités acquises sont proportionnelles au temps pendant lequel le courant est transmis, pourvu que ce temps soit très-court. Ainsi, pour une durée de 1″, il a trouvé que les lames polarisées donnaient un courant de 10°73, et pour une durée de 0″,5, un courant de 5°,33, c'est-à-dire moitié moins fort. Pour comparer l'électricité de la décharge à celle du courant, il a commencé par déterminer avec soin l'intensité du courant dû aux polarités produites par les décharges, et il a trouvé que ce courant produisait au galvanomètre une déviation moyenne de 17°,97. Puis il a remplacé la décharge de la batterie par le courant du couple, et il a trouvé que ce courant, en passant pendant 1″, déterminait une polarité sur les lames, produisant 16°,50 de déviation. Partant du principe que les polarités ou les actions chimiques qui les ont produites sont proportionnelles aux quantités d'électricité en mouvement, il en a déduit que la quantité d'électricité formée dans 1″ par le couple est à celle de la décharge comme 16,50 : 17,97, ou comme 0,92 : 1. Maintenant, par une succession d'expériences délicates, M. Becquerel a réussi à déterminer à combien d'eau décomposée correspondait le courant du couple agissant pendant une 1″; il est parvenu ainsi à trouver que, pour décomposer 1 gramme d'eau, il faudrait une quantité d'électricité équivalente à celle que fournissent 51,586,400 décharges d'une batterie ayant 1 mètre carré de surface. Ce nombre se réduit à 20,063,456 quand la charge de la batterie est à son maximum. En ramenant aux mêmes conditions le résultat de Faraday, on trouve 21,850,451. La différence est peu considérable pour des expériences de cette nature. On peut donc conclure de là, en adoptant le nombre net de 20,000,000 pour 1 gramme, que, pour décomposer 1 milligramme d'eau, il faut 20,000 décharges d'une batterie présentant une surface de 1 mètre carré, ou la décharge d'un carreau électrique qui aurait environ 2 hectares de surface. Or, c'est cette même quantité d'électricité que doit produire la décomposition de ce même milligramme d'eau

:e par un moyen chimique; et si elle était accumulée
anière à se décharger instantanément et non d'une manière
essive au fur et à mesure de sa production, elle serait ca-
: de produire les effets de la foudre. Il ne faut pas attacher
très-grande importance aux valeurs numériques obtenues
Faraday et Becquerel; mais leurs recherches donnent un
tat important confirmé par Peltier, savoir combien est
ne la quantité d'action chimique nécessaire à la produc-
l'une grande puissance électrique.
is de tous les rapports qui lient l'affinité chimique avec
tricité qu'elle engendre, le plus important est celui qu'éta-
ntre les deux formes de la même force la production de
ur qui les accompagne. Nous avons déjà fait mention des
rches de M. Joule et de celles de M. Favre sur ce sujet, et
galement cité l'expérience par laquelle j'avais réussi à
ntrer l'égalité qui existe entre la quantité de chaleur
ndrée directement par l'action chimique et celle que pro-
e courant auquel cette même action chimique donne nais-
[1]. Nous pouvons maintenant revenir avec plus de détails
et ordre de phénomènes que nous n'avions traités qu'in-
nment, ne pouvant pas les approfondir avant de nous être
pé des actions électro-chimiques.
Joule, après avoir établi, comme nous l'avons vu, les lois
égagement de la chaleur par le passage du courant élec-
e à travers les liquides, avait été conduit à admettre que
leur développée par les réactions chimiques sans électricité
e, est la même que celle que produisent ces réactions sous
de courant électrique, de telle façon que la chaleur serait
lans les deux cas à la résistance à la conductibilité élec-
e. Le savant physicien anglais a d'abord prouvé que les
tités de chaleur dégagées par la combustion des équiva-
des corps, sont proportionnelles à leurs affinités pour
gène gazeux; il parvient à ce résultat en cherchant la
re de ces affinités dans l'action du courant électrique et
nant compte des modifications apportées dans son intensité,

[1] ome II, pages 191 et suivantes.

par l'état physique des éléments des combinaisons qui s'effectuent dans les couples d'où provient le courant. Il a déterminé pour le potassium, le zinc, le fer, le cuivre et l'hydrogène, la chaleur produite par la combustion directe de ces corps dans l'oxygène gazeux, d'après un procédé analogue à celui de Dulong, puis il évalue la chaleur produite par l'oxydation des mêmes substances dans la production du courant voltaïque; il trouve ainsi les nombres suivants comme expression des degrés[1], dont un équivalent de chaque corps élève par son oxydation la température d'une livre d'eau, dans le cas de la combustion directe et dans celui de l'oxydation avec électricité perçue :

	Oxydation directe.	Oxydation voltaïque.	Oxydation voltaïque corrigée.
Potassium. . .	17°,60	21°,17	»
Zinc.	11°,03	13°,83	11°,01
Fer.	9°,48	12°,36	8°,06
Cuivre. . . .	5°,18	9°,97	5°,97
Hydrogène. . .	8°,36	10°,47	10°,40

Pour obtenir les résultats corrigés contenus dans la troisième colonne, M. Joule remarque que dans l'oxydation par voie humide qui est accompagnée de la production d'un courant voltaïque, il y a trois forces, savoir : l'affinité de l'oxygène pour la base de l'oxyde, celle de l'oxyde pour l'acide sulfurique (en supposant que ce soit dans une dissolution d'acide sulfurique que l'oxydation ait lieu) et enfin celle de l'eau pour l'acide sulfurique; en éliminant les deux dernières forces qu'on peut évaluer directement, on trouve les nombres contenus dans la troisième colonne, qui sont très-rapprochés de ceux de la première, sauf pour le fer et pour l'hydrogène, ce qui tient à des causes faciles à apprécier.

M. Favre, comme nous l'avons déjà remarqué en nous occupant des effets calorifiques de l'électricité, a établi par des expériences nombreuses et exactes, la vérité du principe que j'avais énoncé en le fondant sur une seule expérience et auquel

[1] Les degrés sont Fahrenheit.

Joule était également parvenu par une autre méthode; voir, que la chaleur confinée dans le liquide du couple et celle ui naît de la résistance du circuit métallique quel qu'il soit, nt toujours complémentaires l'une de l'autre. M. Favre a en tre démontré, ce que M. Joule n'avait fait qu'entrevoir, qu'on trouve toujours dans le liquide du couple et dans l'arc interlaire, la totalité de la chaleur que l'action chimique mise en dans le couple serait seule capable de développer. Nous pouvons reproduire en détail les expériences de M. Favre; ns rappellerons seulement qu'elles ont été faites d'après la me méthode qui lui a servi à lui et à M. Silbermann, dans r grand travail sur la mesure des quantités de chaleur gagées dans les actions chimiques, et avec un calorimètre mercure semblable, mais construit sur une plus grande elle que le premier. M. Favre a d'abord mesuré la quan- de chaleur dégagée dans le couple quand le circuit était mé par un fil de cuivre assez épais pour qu'il n'y eût pas fet calorifique appréciable développé par suite de la résis- nce à la conductibilité; un fil de 2 millimètres de diamètre de 3 décimètres de largeur au plus remplissait la condition lue. Il a ensuite remplacé ce fil par des fils de platine de mètres et de longueurs variables, susceptibles de se ré- uffer plus ou moins; et en combinant son appareil de façon la chaleur totale, aussi bien celle du fil que celle du couple, reçue par le calorimètre, il a obtenu avec ces fils variables, r la mesure de la quantité totale de chaleur, des nombres peu différents les uns des autres et dont la moyenne est 124 unités de chaleur. Le nombre obtenu avec le fil de vre qui ne s'échauffait pas est 18,137; ce nombre repré- te la quantité de chaleur dégagée par l'action chimique respondante au dégagement de 1 gr. d'hydrogène, ou à uivalent soit 33 gr. de zinc dissous, avec transmission ectricité à travers un fil métallique qui n'offre aucune stance au courant. D'après les expériences faites par Favre en commun avec M. Silbermann, le nombre qui rime la chaleur dégagée par la formation du sulfate de sans électricité transmise, est 18,444 qui, quoique légè-

rement plus fort, se rapproche cependant assez des deux autres pour permettre d'en conclure l'exactitude du principe que nous avons posé.

M. Favre remarque avec raison que la loi qu'il a établie permet de démontrer que ce n'est pas l'oxydation seule du métal qui développe le courant dans un couple voltaïque, mais que la dissolution de l'oxyde formé dans l'acide contribue aussi à cette production. En effet, si on admet que la quantité de chaleur qui est produite en vertu des actions chimiques dans un couple voltaïque zinc et platine plongé dans une dissolution d'acide sulfurique, est représentée par $A+B-D$, A étant la chaleur dégagée par la formation d'un équivalent d'oxyde de zinc anhydre, B la chaleur dégagée par la combinaison de cet oxyde avec l'acide sulfurique étendu, et D l'équivalent calorifique de l'eau, c'est-à-dire la chaleur absorbée par la décomposition d'un équivalent d'eau et par conséquent dégagée par sa formation; on aura, d'après les expériences directes de MM. Favre et Silbermann, $A=42,451$, $B=10,455$ et $D=34,462$; d'où $A+B-D=18,444$, nombre bien rapproché de 18,137, chaleur véritablement dégagée. Si on admet que cette chaleur n'est égale qu'à $A-D$, on a 7,989, nombre bien différent de 18,137. Il est donc bien évident que l'oxydation seule du zinc ne suffit pas pour rendre compte des effets engendrés par le courant.

C'est en partant des considérations du même genre que M. Favre cherche à expliquer pourquoi on ne peut pas décomposer l'eau dans un voltamètre quand on ne dispose que d'un seul couple zinc et platine plongé dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique, tandis que cette décomposition peut avoir lieu avec un seul couple de Grove dans lequel le platine est entouré d'acide nitrique. Il remarque que la chaleur nécessaire pour constituer à l'état libre l'hydrogène dans le voltamètre, c'est-à-dire pour décomposer l'eau, ne se trouve pas dans les réactions chimiques qui ont lieu dans le premier couple, tandis qu'elle se trouve dans celles qui ont lieu dans le second. En effet, dans le premier couple cette quantité de chaleur est $A+B-D=18,444$ unités, comme nous l'avons vu, tandis que la décomposition de

en absorbe 34,462. Dans le second couple il n'y a pas
gement d'hydrogène; par conséquent il n'est pas néces-
de retrancher D de A+B, ce qui fait que la chaleur
gée devrait être de 52,906 unités; mais elle n'est en
é que de 46,021, parce que la ségrégation chimique de
gène de l'acide nitrique absorbe 6,885 unités de chaleur
quivalent, qui sont prises à la chaleur dégagée par la sul-
on du zinc et qu'il faut par conséquent retrancher de
6. Mais en tout cas 46,021 dépasse de beaucoup 34,462,
re des unités de chaleur nécessaires à la décomposition
au dans le voltamètre.

nme on le voit, M. Favre part du principe que la chaleur
que est uniquement un emprunt fait à la chaleur dégagée
l'action chimique qui produit le courant, que, par conséquent, dans un circuit fermé la quantité totale de chaleur est
nte pour une même quantité d'action chimique, et qu'en se
buant de différentes manières, suivant la nature de ce
t, elle éprouve un simple déplacement. Le savant phy-
français est ainsi conduit à admettre un transport ins-
é de chaleur, à l'*état latent*, il est vrai, qui peut traverser
nducteur sans élever sa température, transport qui se
molécule à molécule dans l'eau placée dans le circuit,
ure que les molécules successives sont décomposées et
posées par l'échange qui se fait entre elles des éléments
x qui les constituent. Il estime qu'on peut ainsi se rendre
compte des effets qu'on observe dans les décompositions
-chimiques, et par conséquent de la théorie de la pile;
out en étant porté à croire qu'on peut rattacher les effets
its par les courants de la pile à deux ordres de manifes-
, dont les premières pourraient être considérées comme
des *courants de chaleur latente* et les secondes à des *cou-
d'affinité transmise*, il reconnaît qu'elles proviennent,
que l'électricité elle-même, de la même source, c'est-à-
e l'action chimique.

it en admettant avec M. Favre la liaison intime qui
entre les quantités de chaleur dégagées dans les diffé-
parties d'un circuit, nous ne pouvons les considérer

comme de simples déplacements de celle qui est produite dans le couple; nous sommes plutôt disposés à les attribuer à la distribution variable avec la nature du circuit, de la force qui naît de l'exercice de l'affinité dans le couple. Mais, avant de développer notre pensée, nous devons, pour compléter l'exposition du sujet qui nous occupe, dire quelques mots des recherches plus récentes de M. J. Regnauld, qui nous paraît se ranger à l'opinion de M. Favre.

M. J. Regnauld, partant d'une expérience par laquelle M. Favre trouve que la chaleur dégagée par l'oxydation de l'équivalent de zinc amalgamé est supérieure de 352 unités à celle qui est dégagée par l'oxydation de l'équivalent de zinc pur, en conclut que cette différence est due à ce que dans l'amalgame, le zinc étant liquide, il n'est pas obligé, comme lorsqu'il est solide, d'absorber de la chaleur dans sa transformation en sulfate, absorption qui diminue d'autant celle que produit la combinaison chimique. Les 352 unités représentent donc la quantité de chaleur devenue latente dans le zinc amalgamé et qui se retrouve sous forme d'électricité dans l'excès de force électromotrice que présente le zinc amalgamé sur le zinc pur. Cette transformation de la chaleur en force électromotrice ne nous semble point nécessaire pour expliquer l'influence de l'amalgamation, qui nous paraît tenir simplement à ce que l'affinité s'exerce plus facilement entre l'eau acidulée et le zinc quand ce dernier est dissous, puisqu'elle n'a plus la cohésion à vaincre; phénomène semblable à celui que présentent la plupart des actions chimiques. La même cause, c'est-à-dire l'exercice plus facile de l'affinité, nous paraît expliquer également le plus grand développement de chaleur qui accompagne l'oxydation du zinc quand, au lieu d'être pur, il est amalgamé.

Nous ne contestons point du reste que la chaleur dégagée et la force électromotrice ne marchent ensemble, sans être toutefois la cause l'une de l'autre, puisqu'elles nous paraissent également dépendre, quant à leur intensité, de celle de l'affinité qui leur donne naissance à toutes deux. M. J. Regnauld fait remarquer en effet que le rapport entre les chaleurs dégagées dans un couple de Grove et un couple de Daniell est le même

elui des forces électromotrices de ces deux couples, c'est-à-
gal à 1,731 environ. Déjà auparavant M. Wood, à la suite
ériences sur la chaleur dégagée par l'oxydation dans l'eau
fférents métaux, avait trouvé que l'ordre de ces métaux,
s d'après la quantité de chaleur à laquelle leur oxydation
naissance, est exactement le même que celui que fournit
nparaison des forces électromotrices qui naissent de leur
inaison avec l'oxygène. Toutefois, la question qui nous
e exigerait encore beaucoup de recherches pour pouvoir
omplétement résolue.
oi qu'il en soit, il nous paraît bien démontré qu'il y a un
rt intime entre l'affinité chimique d'une part et la chaleur
que l'électricité qu'elle dégage d'autre part, et que c'est
la détermination des quantités de chaleur développées et
rces électromotrices engendrées, qu'on pourra trouver
sure la plus exacte des affinités. Ce n'est que lorsqu'un
lable travail aura été achevé qu'il sera possible d'asseoir
es bases un peu solides une théorie électro-chimique.
dant j'essayerai dès à présent d'énoncer brièvement sur ce
quelques idées qui me paraissent s'accorder mieux avec
ts actuellement constatés que les hypothèses dont on s'est
té jusqu'ici, tout en reconnaissant qu'il est impossible,
'état actuel de la science, de donner une théorie complé-
t satisfaisante.
s avons déjà rappelé les deux théories électro-chimiques
nt été proposées, l'une par Berzélius, l'autre par Am-
; la première, basée sur l'hypothèse que les atomes ont
leux pôles électriques de nature contraire; la seconde, sur
thèse que les atomes ont tous une électricité naturelle,
s positive, les autres négative. Nous avons observé que
onde théorie a le grave inconvénient de partager les corps
ux catégories distinctes, les uns électropositifs, les autres
onégatifs, tandis qu'il est évident que leur propriété élec-
n'a rien d'absolu, puisque le même corps joue tantôt
e d'électropositif, tantôt celui d'électronégatif, suivant le

me I, page 609.

corps avec lequel il est combiné. Cette objection est pour nous une objection de principe à laquelle il est impossible de répondre, malgré les artifices ingénieux au moyen desquels on a cherché à la réfuter. La première théorie, celle de Berzélius, nous paraît présenter des objections moins dans son principe que dans la manière dont son auteur l'envisage dans ses détails et en fait l'application; nous avons déjà démontré tout ce que présente d'improbable l'hypothèse de Berzélius, que les atomes, tout en ayant deux pôles électriques, deviennent unipolaires dès qu'ils se combinent, c'est-à-dire qu'ils ne gardent qu'une de leurs électricités en se combinant, et qu'ils abandonnent l'autre. Nous allons du reste voir que cette hypothèse n'est point nécessaire pour expliquer les phénomènes électro-chimiques, lesquels peuvent très-bien se concilier avec l'existence d'une polarité permanente des atomes. Nous avons déjà cherché à expliquer, au moyen de cette polarité, les phénomènes magnétiques et diamagnétiques; nous allons maintenant essayer de montrer qu'elle rend bien compte aussi des phénomènes électro-chimiques.

Le principe dont nous partons c'est que tout atome a deux pôles électriques contraires, mais de même force; est-ce à un mouvement de rotation sur lui-même ou à une autre cause qu'il doit cette polarité? peu importe, c'est pour nous un fait primitif. Un atome diffère d'un autre atome, quant à sa polarité, uniquement en ce que l'un a une polarité plus forte que l'autre; mais dans le même atome les deux pôles électriques sont toujours de même force. Quand deux atomes isolés sont rapprochés l'un de l'autre, ils s'attirent par leurs pôles opposés; mais, comme ils sont sphériques, ils ne peuvent venir en contact que par un des pôles du premier et par le pôle contraire du second. Sera-ce indifféremment le pôle positif ou le pôle négatif du premier qui viendra en contact avec le pôle négatif ou le pôle positif du second? Nous sommes obligé d'admettre un principe qui nous paraît pouvoir se fonder sur l'observation d'un grand nombre de faits, savoir, que lorsque les deux atomes sont libres et isolés, c'est toujours le pôle positif de celui qui a la polarité la plus forte qui s'unit avec le pôle négatif de celui qui a la polarité la plus faible. S'ils ont la même force de polarité, il n'y

s de raison pour qu'ils s'unissent par deux de leurs pôles raires plutôt que par les deux autres. Alors ils ne s'attirent t par leurs pôles, mais ils obéissent seulement à l'*attrac- moléculaire* due à l'effet de leur masse; c'est le cas des ies homogènes dont l'attraction constitue la cohésion; is que lorsque les atomes sont hétérogènes, ils s'attirent leurs pôles opposés, ils obéissent alors à l'*affinité chimique*. 'affinité chimique est donc le résultat de l'attraction de t atomes différents par leurs pôles contraires, mais s'exer- de telle façon que le pôle positif du plus fortement polaire isse avec le négatif de celui qui l'est moins fortement. ome composé qui résulte de l'union des deux atomes ientaires a également deux pôles, savoir, le négatif de me le plus fort et le positif du plus faible; ces deux pôles égaux, parce que l'excès du plus fort sur le plus faible de qui se sont unis sert à neutraliser une partie correspon- e de l'électricité du pôle libre du plus fort; l'atome com- se trouve donc dans les mêmes conditions que l'atome t, et jouit des mêmes propriétés. Ainsi, en supposant que ygène soit celle des substances simples qui ait la polarité la forte, un atome d'oxygène s'unira avec un de soufre, de a que son pôle positif soit adhérent au négatif du soufre; il era de même de l'union d'un atome d'oxygène avec deux ies d'hydrogène. Un atome de chlore s'unira avec l'hydro- de la même manière que l'oxygène, tandis qu'il s'unira un atome d'oxygène de telle façon que ce sera le pôle if de l'oxygène qui sera uni au pôle négatif du chlore; , ce sera par son pôle positif que le chlore s'unira avec l'hy- ène et par son négatif qu'il s'unira avec l'oxygène.

n atome composé quand il est isolé a donc, comme l'atome ple, deux pôles contraires et égaux; les électricités de ces s pôles se réunissent par la surface même de cet atome de même manière que nous avons admis que cela avait lieu pour ome simple [1]. Mais, si l'on place l'atome composé entre s polarités contraires, entre les deux pôles d'une pile par

[1] Voyez tome I, page 570, figure 172.

exemple, aussitôt cet atome se dispose de façon que son pôle + soit tourné du côté du pôle négatif de la pile et son — du côté du pôle positif de la même pile ; c'est donc quand il s'agit de l'eau, les atomes d'hydrogène qui sont tournés avec leur pôle positif du côté du pôle négatif de la pile et les atomes d'oxygène du côté du pôle positif. La polarisation des molécules des liquides électrolytiques, qui précède toujours leur décomposition, est donc une conséquence de leur polarité naturelle. Maintenant, si la puissance électrique est suffisante, l'électricité positive de l'électrode positif attire la négative libre de la première molécule d'eau, et détermine ainsi la séparation de l'oxygène qui abandonne son hydrogène à l'oxygène de la molécule d'eau suivante, et ainsi de suite. La différence entre l'état naturel d'un liquide et son état de polarisation électrique consiste donc en ce que dans le premier état les molécules laissées à elles-mêmes sont dans un équilibre électrique complet, les électricités égales et contraires dont leurs deux pôles sont doués se réunissant par leur surface; tandis que dans le second état l'équilibre électrique est rompu, les électricités contraires ne se réunissant plus par la surface des molécules dont les pôles positifs sont tous tournés du côté du négatif de la pile et les négatifs du côté du positif de la pile. Cet état de polarisation est suivi de l'électrolyse, c'est-à-dire de la séparation des atomes constituants de chaque particule et de leur combinaison avec les atomes contraires des particules suivantes ou précédentes, sauf pour ceux des particules extrêmes, lesquels se dégagent à la surface des électrodes. Remarquons seulement qu'au moment où les atomes d'oxygène et d'hydrogène de deux particules consécutives deviennent libres, ils doivent se retourner pour que ce soit le pôle + de l'oxygène qui se combine avec le pôle — de l'hydrogène et non le pôle + de l'hydrogène avec le — de l'oxygène, puis ce retournement et la combinaison une fois opérés, la polarisation recommence [1].

Toutes les décompositions électrolytiques s'expliquent de la même manière. Nous n'en donnerons que quelques exemples.

[1] Voyez, pour la nécessité de ce retournement, à la page 291, tome II.

Ainsi les molécules d'une dissolution d'acide sulfurique peuvent être considérées comme formées d'une molécule d'acide sulfurique dont le pôle + a attiré le pôle — de la molécule d'eau unie avec celle de l'acide; mais le pôle + de la molécule d'acide sulfurique appartient au soufre, le pôle — de la molécule d'eau appartient à l'oxygène, de sorte que lorsque les molécules de la dissolution sont décomposées après avoir été polarisées, il n'est pas étonnant que l'atome d'oxygène marche avec la molécule d'acide sulfurique en se séparant des atomes d'hydrogène, et en formant ce que nous avons appelé un *oxysulfion*. Il en sera de même quand l'hydrogène est remplacé par une base métallique, telle que le sodium ou le cuivre, avec la différence qu'à l'électrode négatif le sodium décompose l'eau, tandis que le cuivre s'y dépose à l'état métallique. Le mode de décomposition électrolytique des composés non binaires doit dépendre de la manière dont la combinaison s'opère entre les divers atomes qui entrent dans leur formation, et par conséquent du degré d'affinité ou de polarité électrique relative de ces divers atomes. C'est donc en étudiant les phénomènes qui accompagnent la combinaison et en particulier en mesurant la force électromotrice et la chaleur qui s'y développent, qu'on pourra se rendre compte de la manière dont ces divers atomes se groupent et se séparent dans la décomposition. Quant aux composés binaires, leur décomposition s'explique facilement de la même manière que celle de l'eau; ainsi dans celle de l'acide hydrochlorique, le chlore se conduit comme l'oxygène lorsqu'il s'agit de l'eau ; il en est de même des autres chlorures, des sulfures, des cyanures, comme des oxydes. Dans la décomposition des acides chloriques, sulfuriques, etc., le chlore, le soufre, etc., se conduisent alors non plus comme l'oxygène, mais comme l'hydrogène. Tous ces résultats sont les conséquences évidentes de notre théorie.

La formation des composés est au premier abord plus difficile à expliquer dans cette théorie que leur décomposition, non pas dans le cas des composés binaires dont les deux éléments étant libres, se combinent suivant le mode que nous avons décrit plus haut, mais dans le cas où la formation d'un com-

posé n'a lieu qu'au moyen de la décomposition d'un autre. Cependant alors nous estimons que la même théorie peut rendre compte d'une manière satisfaisante de ce qui se passe.

Supposons, pour fixer nos idées, une lame de zinc plongée dans une dissolution d'acide sulfurique; le premier effet de la présence du métal dans le liquide, doit être de détruire l'équilibre électrique des particules de la dissolution en contact avec lui [1]; dès lors l'électricité négative de l'oxygène et la positive de l'hydrogène de chacune de ces particules deviennent libres, mais comme la première est beaucoup plus forte que la se-

[1] Le contact d'un corps conducteur doit en effet empêcher la recomposition des électricités libres des atomes combinés, qui avait lieu par la surface extérieure de ces atomes; il en résulte que l'atome d'oxygène qui est combiné se trouve ainsi avoir son électricité négative entièrement libre, tandis qu'une partie de sa positive est dissimulée par l'atome d'hydrogène; voilà pourquoi il vient adhérer au métal par son pôle négatif. Il est probable que la propriété catalytique du platine et de quelques autres substances tient à la même cause. Quand des molécules d'oxygène et d'hydrogène sont en contact bien intime avec du platine, les électricités de leurs pôles respectifs cessent de se recomposer par la surface même des atomes; les atomes d'oxygène adhèrent alors par leurs pôles positifs avec la surface du platine; ceux d'hydrogène y adhèrent par leurs pôles négatifs; et alors les pôles libres des atomes d'oxygène et d'hydrogène s'attirent étant de nature contraire; il en résulte la combinaison des atomes de ces deux gaz, accompagnée d'une petite décharge électrique à travers le platine et d'un dégagement de chaleur. L'électricité qui traverse le platine ne peut être perçue directement à cause de la distance infiniment petite des atomes dont les électricités sont ainsi combinées. L'adhésion des gaz à la surface des métaux tient probablement en grande partie en effet à leur polarité électrique; c'est un phénomène analogue à celui de la polarisation qu'exerce sur les molécules d'un liquide une lame métallique qu'on y plonge. On conçoit donc pourquoi, soit pour obtenir une forte adhésion, soit pour produire l'effet catalytique, il faut que la surface métallique soit très-propre et que, si elle est très-divisée, sa puissance en est augmentée. On conçoit également pourquoi il ne faut pas que cette surface puisse elle-même se combiner fortement avec l'oxygène, puisqu'alors celui-ci ne pourrait plus se combiner avec l'hydrogène; nous disons *fortement*, parce que l'adhésion de l'oxygène au platine, par exemple, est bien une combinaison chimique, puisqu'elle est le résultat de la polarité électrique et non pas de la simple attraction moléculaire; et nous avons une preuve expérimentale que c'est une combinaison dans le fait de la désagrégation de la surface du platine qui a servi pendant un certain temps à déterminer la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène, par l'effet de son pouvoir catalytique.

, puisque l'oxygène est beaucoup plus fortement polaire hydrogène, c'est elle qui agit sur le métal en attirant le + de sa particule et en la polarisant ainsi ; à son tour ricité positive libre de l'hydrogène de la particule d'eau, ur la molécule suivante de la dissolution et la polarise en isant aussi son équilibre électrique, de façon que son ne négatif soit tourné du côté de la particule en contact e zinc et ainsi de suite. C'est ainsi que s'établit cet état e que nous avons admis être le premier effet du contact métal avec le liquide électrolytique, et qui doit avoir lieu out corps conducteur de l'électricité, lors même qu'il as suivi de l'action chimique qui donne naissance à un au composé. Quant à cette action chimique, qui consiste a décomposition du liquide et la combinaison de l'un de ments avec le métal, elle n'a lieu, en général, comme l'avons vu, que lorsque la chaîne électrique peut être e, soit par l'effet d'un défaut d'homogénéité dans la sur métallique elle-même, soit par l'effet de son contact avec atre substance constituant avec elle un couple voltaïque. fois, il se peut qu'avec certains corps, tels que ceux dont polaire diffère beaucoup de celui de l'oxygène (métaux xydables), l'action chimique qui suit l'établissement de polaire, puisse avoir lieu sans que le circuit soit formé, ie aussi avec les métaux très-peu oxydables, elle n'a pas lors même qu'il est formé. On conçoit que l'explication nous venons de donner s'applique facilement à tous les nalogues à celui que nous avons pris pour exemple, it en particulier où la dissolution est un chlorure, un re, un cyanure, et non pas seulement une combinaison gène, et où les composés formés sont par conséquent égan it des chlorures, des sulfures, des cyanures, etc.

si toutes les actions chimiques du genre de celles dont venons de parler, sont des actions électro-chimiques tout à ambiables, sauf qu'elles sont locales, à celles qui ont lieu un couple voltaïque. Il n'est donc pas étonnant que la ité de chaleur qui accompagne leur exercice soit exac- nt la même, que cet exercice ait lieu dans l'une ou

l'autre des deux formes, quand la quantité et la na
tion chimique sont les mêmes [1].

Revenant à l'action chimique qu'exercent mutue
sur l'autre deux corps simples qui ne font parti
l'autre d'aucune combinaison, il faut, pour qu'
que le rapprochement entre les atomes soit assez
que le pôle + du plus fortement polarisé attire l
celui qui l'est le moins. La chaleur, en exaltant
peut faciliter la combinaison. Dans le cas où l'u
simples est l'oxygène, on conçoit que son ozon
paraît consister à désagréger les molécules, donne
en les isolant, toute leur polarité et augmente ai
sance oxydante de ce gaz. On sait également
oxydante est beaucoup facilitée par la présence d
aqueuse ; ce fait, qui est constant, tient évidemm
le phénomène devient alors électro-chimique ; la v
est polarisée par le métal comme l'eau elle-même
de l'oxygène pour l'hydrogène des particules aqueu
leur électrolysation, et par conséquent l'oxydatio
qui a lieu aux dépens de l'oxygène de ces particules,
l'oxygène gazeux reforme de l'eau avec leur hydro

Il n'y a aucun doute que toute action chimique q
une simple combinaison de deux éléments isolés, m
quelle il y a à la fois décomposition et productio

[1] En parlant des essais de Faraday et de Becquerel pour déter
tité d'électricité qui est dégagée dans une certaine action chimi
l'oxydation du zinc, nous avons dit que Peltier était parvenu,
par un procédé tout différent, à montrer combien est prodigieuse l
lectricité qui se développe par l'effet de l'action chimique la plus f
les résultats de M. Peltier ne soient pas parfaitement d'accord a
deux savants physiciens que nous avons nommés, ils n'en confirm
l'exactitude du principe qu'ils ont établi. Il suffit, en effet, d'apr
de l'oxydation de *cent cinquante et un billionièmes* de milligra
($0^{mg},0000000151$) pour produire une électricité *dynamique* capab
vier de 1° l'aiguille d'un galvanomètre sensible, et de l'oxydation
de deux mille cent trente-six quatrillionièmes de milligram
($0^{mg},00000000002136$), pour produire une électricité *statique* ca
diverger de 1° l'aiguille de l'électromètre de M. Peltier.

:omposé, ne soit, comme nous l'avons déjà remarqué, un
mène très-complexe, et que les atomes des corps ne se
ent d'une manière très-différente de celle dont ils étaient
és avant l'action. Ces changements dans leur mode de
ement ne peuvent pas s'opérer sans qu'il y ait une grande
bation dans leur mouvement, ce qui amène l'élévation
ıpérature dont la production de l'action chimique est
rs accompagnée. Or, cette élévation est d'autant plus forte
ffinité qui détermine l'action chimique est plus énergi-
que par conséquent la perturbation est plus grande. Le
t si intime qui unit la quantité de chaleur produite avec
té d'une part, et l'affinité avec la force électromotrice
part, est bien favorable à l'hypothèse par laquelle,
ant l'affinité à la polarité électrique naturelle des atomes,
aisons dépendre la polarité d'un mouvement de rotation
mes sur eux-mêmes. En effet, dans la théorie mécanique
haleur, la température doit dépendre de la rapidité de
uvement de rotation, qui elle-même doit influer sur
gie de la polarité électrique.
s ne nous étendrons pas pour le moment davantage sur
et tout théorique, vu que nous manquons encore dans
ctuel de la science de faits en nombre suffisant pour
r ou infirmer notre hypothèse. Nous ne nous dissimule-
as les objections qu'on peut lui opposer, savoir, en parti-
la difficulté de concevoir qu'une simple différence dans
rité électrique des atomes puisse expliquer l'affinité; la
té d'admettre dans cette hypothèse que c'est toujours le
ositif de l'atome dont la polarité est la plus forte qui
e négatif de celui dont la polarité est la plus faible, et
le négatif du premier qui attire le positif du second,
ins quand ils sont libres et non combinés; enfin, si la
n des atomes sur eux-mêmes est la cause de leur pola-
t en même temps celle de leur température, comment
l se faire que des atomes différents, ayant par conséquent
olarité différente, soit un mouvement de rotation diffé-
puissent avoir la même température?
t en reconnaissant la force des objections que nous venons

de présenter, nous pouvons cependant y répondre en partie. D'abord il nous paraît que la polarité de l'atome est un des principes les mieux établis par l'ensemble des faits qui constituent la science de l'électricité; les phénomènes de l'induction électro-dynamique et électrostatique, ceux de la thermo-électricité, soit dans les corps isolants, soit dans les corps conducteurs, les faits relatifs au dégagement de l'électricité par frottement, sont presque impossibles à expliquer si l'on n'admet pas ce principe. Et le principe une fois admis, on ne peut concevoir d'autre différence entre deux atomes sous ce rapport, sinon que l'un a une polarité électrique plus forte que l'autre. Dès lors la liaison si intime qui existe entre l'affinité chimique et l'électricité, conduit nécessairement à faire jouer dans l'exercice de la première un rôle à la polarité de l'atome. On conçoit toutefois que cette polarité, et par conséquent l'action qu'elle exerce, puisse être modifiée par le mode d'agrégation des atomes, par leur degré d'isolement et par leur température; mais il n'en est pas moins très-probable qu'elle est la cause de la tendance de deux atomes à se combiner chimiquement; combinaison qui, consistant dans la neutralisation des électricités contraires de deux pôles qui viennent en contact, libère en même temps les électricités contraires aussi des deux pôles les plus éloignés. Mais une fois que la combinaison a eu lieu, l'atome composé n'a plus que deux pôles comme l'atome simple, ainsi que nous l'avons expliqué. Maintenant, je le reconnais, l'hypothèse qui consiste à poser en principe, que c'est toujours par le pôle positif de l'atome le plus fortement polaire et par le négatif de celui qui l'est le moins, que l'attraction des deux atomes a lieu, aurait besoin d'être prouvée. Cependant la force expansive plus grande de l'électricité positive comparée à celle de la négative à tension égale, qui est établie par un si grand nombre de phénomènes, donne à notre hypothèse un certain degré de probabilité. Je ne désespère pas, d'ailleurs, qu'on puisse parvenir à la démontrer plus directement.

Si jamais, comme je l'espère, je réussis à obtenir cette démonstration à la suite des recherches électro-chimiques dont je m'occupe actuellement et qui doivent faire l'objet d'un o-

ge spécial, j'essayerai en même temps d'insister plus que
e puis le faire ici sur les rapports théoriques qu'on peut
si établir entre la chaleur et les effets électriques et chimi-
s. C'est alors que je pourrai répondre à la dernière des ob-
ions que je me suis posée, il y a un instant. Pour le moment,
e bornerai à remarquer que dans la théorie mécanique de la
leur, il faut avoir égard non pas seulement à la plus ou
ns grande vitesse du mouvement de rotation de l'atome,
s aussi à sa masse, et que si pour un même atome la quan-
de chaleur augmente avec cette vitesse, il n'en résulte pas
: pour deux atomes ayant des masses différentes, il faille
même vitesse de rotation pour qu'ils aient la même tem-
pature. Et ce qui est vrai pour des atomes isolés, l'est bien
antage pour des molécules formées par l'agrégation d'un
s ou moins grand nombre d'atomes, sur lesquelles l'in-
nce de la masse est bien plus sensible, puisque l'agréga-
n elle-même résulte de l'attraction due à la masse des
mes. Cette question, comme il est facile de s'en apercevoir,
che aux points les plus délicats de la mécanique ration-
le, et ce n'est que lorsqu'on aura réussi à formuler une
e théorie mécanique de la chaleur, qu'on pourra la ré-
dre d'une manière satisfaisante.

En résumé, nous estimons qu'on peut d'une manière géné-
, et sans risquer de trop se hasarder, distinguer l'affinité
mique de l'attraction physique ou moléculaire, en admet-
que l'affinité chimique est l'attraction des atomes s'opé-
par leurs pôles électriques contraires qui viennent en
act, de manière que les deux atomes n'en fassent plus qu'un
dont la polarité est une fonction des polarités des atomes
mentaires, tandis que l'attraction physique résulte de l'action
active mutuelle que les atomes exercent les uns sur les
res en vertu de leurs masses. Cette dernière attraction ne
t jamais produire le contact, parce que de l'action qu'exerce
l'éther qui l'enveloppe l'atome en rotation, naît une force
ulsive dont l'intensité s'accroît à mesure que l'espace qui
are les uns des autres les atomes qui s'attirent vient à dimi-
r. C'est cette force répulsive qui augmente avec la rapidité

de rotation de l'atome, et par conséquent avec sa température.

La distinction que nous venons d'établir entre l'affinité chimique et l'attraction physique nous paraît avoir, entre autres avantages, celui de bien caractériser les traits distinctifs de ces deux formes d'attraction. Dans la première, il y a toujours électricité dégagée et dégagement de chaleur, ainsi que formation d'un composé qui n'a plus aucun rapport physique avec ses éléments constituants; or, c'est ce qui doit résulter de la manière dont nous supposons que s'exerce l'affinité, et en particulier du fait que l'atome composé, une fois qu'il est formé, prend une polarité électrique ou un mouvement de rotation sur son axe qui lui est propre, et qui n'est plus le mouvement de rotation ni de l'un ni de l'autre des atomes constituants. Dans la seconde, c'est-à-dire l'attraction physique, les atomes, en se groupant en vertu de l'attraction de leurs masses, ne viennent point en contact, ne peuvent point par conséquent produire d'effets électriques; ils gardent leur mouvement propre de rotation sur eux-mêmes, ce qui constitue leur individualité. Il peut bien y avoir quelque dégagement de chaleur par l'effet du rapprochement des atomes, comme il y a absorption par le fait de leur éloignement; mais ce sont des phénomènes tout physiques et qui sont liés au travail mécanique qui a lieu dans l'action moléculaire.

Nous ne terminerons pas ce paragraphe sans citer à l'appui de l'hypothèse de la polarité des atomes, une expérience toute récente de M. Foucault qui a réussi, en donnant un mouvement de rotation très-rapide entre les pôles d'un fort électro-aimant à un corps métallique d'une forme arrondie, à produire dans ce corps une forte chaleur. Cette élévation de température provient très-probablement des déplacements successifs et très-rapides qu'éprouvent les particules du corps en rotation, par l'effet de l'influence de l'électro-aimant, déplacements dus eux-mêmes à ce qu'en vertu de leur polarité, les atomes se groupent sous cette influence, dans des directions parallèles à celles des courants de l'électro-aimant, de manière à donner naissance aux courants d'induction. Du reste, nous aurons l'occasion de revenir, à la fin du troisième volume, sur ce sujet

un appendice que nous consacrerons aux travaux qui ont
écemment faits sur le magnétisme et sur le diamagné-
e ; nous chercherons alors à compléter la théorie que nous
ns d'esquisser et que nous avions déjà exposée en partie
notre premier volume [1].

ome I, pages 569 et suivantes.

e des principaux travaux relatifs aux sujets traités dans ce chapitre :

sted. — Électricité produite par les actions chimiques. — *Ann. de ch. et ys.* T. XXII, p. 358.

puerel. — Effets électriques produits dans les actions chimiques. — *Ann. . et de phys.* T. XXIII, p. 152 et 244 ; t. XXIV, p. 192 ; t. XXV, p. 405 ; , p. 176 ; t. XXVII, p. 5. — Effets électriques dans le contact des liquides métaux. T. XXVII, p. 29. — Effets statiques et dynamiques simultanés (B. père). T. XXVIII, p. 16. — Effet électrique de l'eau oxygénée. T. XXXV, ; t. XLI, p. 5 ; t. LX, p. 164. — Effet électrique dans le contact de l'eau quelques substances cristallisées. — Courants pyro-électriques. — *Arch. . phys.* (*Bibl. univ.*). T. XXVI, p. 173. — Théorie électro-chimique. — *le ch. et de phys.* (*nouvelle série*). T. XXVII, p. 5. — Électricité dans les s chimiques. — *Idem.* T. XLII, p. 385. — Quantité d'électricité associée rticules. — *Comptes rendus de l'Acad. des sciences* (mars 1846) et *Arch. :. phys.* (*Bibl. univ.*). T. I, p. 291. — Voyez, pour les travaux de cquerel, les *Ann. de ch. et de phys.*, *passim* et ses deux Traités d'électri-

lteucci. — Action chimique intérieure de la pile équivalente à l'action eure. — *Bibl. univ.*, t. LVIII (1835), p. 23 et suiv. — Production de l'élec- par action chimique. — *Ann. de ch. et de phys.* (*nouvelle série*). T. XVI, . — Polarités secondaires. — *Bibl. univ.* (1838). T. XVII, p. 378, et (1840) III, p. 410. — Production de l'électricité voltaique. *Arch. de l'électricité.* , p. 65 ; *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*) ; t XII, p. 142 ; t. XVI, p. 319. ectricité par combustion. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*). T. XXVII, 5.

rsten. — Électricité dans le contact des métaux et des liquides. — *Bibl.* (1836). T. V, p. 154.

ullet. — Électricité dans la combustion, etc — *Ann. de ch. et de phys.* XV, p. 401, et t. XXXVI, p. 5. — Théorie de la pile. *Comptes rendus de l. des sciences.* T. IV, p. 267. — Quantité d'électricité par l'oxydation du *Idem.* T. IV, p 785. *Traité de physique.*

ff. — Électricité non due à l'évaporation. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl.*). T. XXVI, p. 240. — Électricité par la flamme. — *Idem.* T. XVIII, p. 265, XXVI, p. 335. — Électricité dans le contact des liquides et des metaux. — *de l'électricité.* T. III, p. 568.

la Rive. — Action chimique source de l'électricité. — *Ann. de ch. et de*

phys. T. XXXVII, p. 225 ; t. XXXIX, p. 297 ; t. LXI, p. 38. — *Bibl. univ.* (1836). T. III, p. 375 ; t. IV, p. 152 et 359. — Action de l'acide sulfurique sur le zinc. — *Ann. de ch. et de phys.* T. XLIII, p. 425. — Action chimique d'un seul couple. — *Arch. de l'électricité.* T. III, p. 175. — Électricité due à la désoxydation. — *Bibl. univ.* (1836). T. I, p. 151. — Pile à charbon pilé. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*) T. XXIV, p. 77. — Voyez, pour les travaux de M. de la Rive sur l'origine chimique de l'électricité voltaïque, les *Mémoires de la Soc. de phys. et d'Hist. nat. de Genève.* T. IV, p. 285, t. VI, p. 149, et t. VII, p. 45 ; les *Arch. de l'électricité* (1840 à 1845) et les *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*)

Schoenbein. — Théorie de la pile. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*) T. XXI, p. 192. — Polarités secondaires. — *Bibl. univ.* (1838). T. XVIII, p. 166, 187 et 365. — Effets électro-chimiques. — *Idem* (1839). T. XXIII, p. 189. — Passivité du fer, du bismuth, etc. — *Idem.* T. III, p. 377 ; t. V, p. 177 et 397 ; t. II, p. 41 ; *Arch. de l'électricité*, t. XI, p. 267, 286, 509 et 513. — Pile à oxyhydrogène. — *Idem.* T. III, p. 69 ; t. IV, p. 56. — Pile à effets électro-chimiques. — *Idem.* — T. XXIII (1839). p. 189.

Faraday. — Origine chimique de l'électricité voltaïque. — *Arch. de l'électricité.* T. I, p. 93 et 142. — Quantité d'électricité dans la décomposition de l'eau. — *Bibl. univ.* T. LVIII (1835), p. 305. — Théorie chimique de la pile. — *Bibl. univ.* (1835). T. LVIII, p. 263 ; *Bibl. univ.* (1840), t. XXVII, p. 17. *Transactions philos. de la Soc. roy. de Londres* et *Phil. Mag. passim.*

Poggendorff. — Forces électromotrices : rapports entre l'action électrique et l'action chimique. — *Arch. de l'électricité.* T. I, p. 168, t. II, p. 5 et 41, t. III, p. 117, 124 et 134 ; t. IV, p. 285 ; *Arch. des sc. phys.* t. IV, p. 321. — Force d'une pile non constante. — *Ann. de ch. et de phys.* (*nouvelle série*) T. VII, p. 87. — Lois de la polarisation galvanique. — *Idem.* T. XX, p. 217. — *Annalen der physik et chemie passim.*

Gassiott. — Grande batterie à eau et théorie de la pile. — *Arch. de l'électricité.* T. IV, p. 262. — *Arch. des sc. phys.* T. III, p. 41. — *Transactions philos. de la Soc. royale de Londres de* 1844.

Nobili. — Électricité produite par l'action chimique des dissolutions. — *Bibl. univ.* (1829). T. XXXVII, p. 10 ; t. LVI (1834), p. 150.

Peltier. — Action des dissolutions. — *Institut.* Vol. V, p. 159 (n° 216). — Quantité d'électricité par l'oxydation d'un grain de zinc. — *Idem.* T. XXI, p. 412.

Fechner. — Pile de Becquerel à oxygène. — *Ann. der physik.* T. XXVIII, p. 1.

Jacobi. — *Idem.* — *Bibl. univ.* (1838). T. XIV, p. 171. — Constantes de la pile. *Arch. de l'électricité.* T. II, p. 575. — Recomposition du gaz dans le voltamètre. *Ann. de ch. et de phys.* (*nouvelle série*). T. XXV, p. 215.

Gaugain. — Couples gazeux. — *Comptes rendus de l'Acad. des sciences* (octobre 1853) et *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*). T. XXIV, p. 274. — Électricité dans la combustion. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*) T. XXII, p. 6 et 240.

Marianini. — Piles secondaires. — *Ann. de ch. et de phys.* T. XXXIII, p. 1

Piles voltaiques. — *Idem*. T. XXXVIII, p. 337 et 442. — *Idem*. T. XLV, 118.

Grove. — Pile à gaz. — *Arch. de l'électricité*. T. III, p. 489. — Réaction taique — *Idem*. — T. IV, p. 148. — *Idem*. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl.* ir.). T II, p. 354. — Électricité de la flamme. — *Idem*. T. XVII, p. 240, et XXV, p. 276. — *Trans. of royal Society* et *Phil. Mag. passim*.

Beetz. — Fer passif. — *Arch. de l'électricité*. T. IV, p. 509. — Pouvoir ctromoteur des gaz. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*) T. XII, p. 285.

Nickles. — Passivité du cobalt et du nickel. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl.* ir.). T. XXIV, p. 79.

E. Becquerel. — Propriétés électro-chimiques de l'hydrogène. — *Ann. de ch.* le phys. (*nouvelle serie*). T. XXXVII, p. 385. — Influence des gaz sur l'électé de contact. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*) T. II, p. 59. — Effets triques dus au mouvement des couples. — *Ann. de ch. et de phys.* (*nouv.* r.). T. XLIV, p. 401.

Fousson. — Fer passif. — *Bibl. univ.* T. V (1836), p. 165 — Électricité dans ion des dissolutions. — *Bibl. univ.* T. XXI (1839), p. 170.

Gess. — Électricité par combustion. — *Arch de l'electricité*. T. V, p. 91.

Fankel. — *Idem*. — *Arch. des sc. phys. Bibl. univ.*). T. XVII, p. 5.

Gaard. — Influence de l'oxygène sur la pile. — *Ann. de ch. et de phys.* (*nouvelle série*). T. XXXVI, p. 129, et t. XLII, p. 5.

Daniell. — Combinaisons voltaiques. — *Arch. de l'electricite*. T. III, p. 623.

Smee. — Pile a argent platiné. — *Bibl. univ.* T. XXVII (1840), p. 186 et 386.

Silliman. — Pile à charbon. — *Arch. de l'electricite*. T. III, p. 649.

Bunzen. — Pile voltaique et préparation des charbons. — *Ann. de ch. et de* ys. *nouvelle serie*). T. VIII, p. 28.

Callan. — *Idem*. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl univ.*). T. VI, p. 47. — m. — T. XXIX, p. 162.

Wheatstone. — Forces électromotrices. — *Ann. de ch. et de phys.* T. X, 25?. *Trans. phil. de la Société royale de Londres* 1843).

Goodmann. — Pile avec potassium. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*). IX, p. 305.

V. Regnauld. — Forces électromotrices. — *Ann. de ch. et de phys.* (*nouvelle* ie). T. XLIV, p. 453.

Svanberg. — Force polarisante de l'hydrogène. *Arch. des sc. phys.* (*Bibl.* ir. T. IV, p. 296.

Lenz et Saweljew. — Pouvoir électromoteur des gaz. — *Ann. de ch. et de phys.* uvelle serie). — T. XX, p. 184.

Kohlrausch — Rapports entre la force electromotrice et la tension. — *Ann.* ch. *et de phys. nouvelle série*). T. XLI, p. 357.

Joule. — Combinaisons voltaiques. — *Arch. de l'electricité*. T. IV, p. 269. Équivalent électrique de la chaleur chimique. — *Ann. de ch. et de phys.* (*nouvelle serie*). T. XVI, p. 474.

Volta. — Électricité de contact. — *Ann. de ch.* T. XXIX, p. 91 ; t. XL, p. 217, et t. XLI, p. 3, 65 et 106.

Biot. — *Idem.* — *Traité de physique expérimentale et mathématique.* Paris, 1816.

Péclet. — *Idem.* — *Ann. de ch. et de phys.* (*nouvelle série*). T. II, p. 233.

Zamboni. — Piles sèches. — *Ann. de ch. et de phys.* T. II, p. 190, et t. XXIX, p. 198. — *Bibl. univ.* (1837). T. VIII, p. 189.

Delezenne. — *Idem.* — *Arch. de l'électricité.* T. V, p. 67.

Cooke. — Affinité et force électromotrice. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*). T. XVII, p. 322.

Favre. — Rapports entre la chaleur, l'affinité et la force électromotrice. — *Ann. de ch. et de phys.* (*nouvelle série*). T. XL, p. 193.

Wood. — Chaleur développée par l'oxydation. — *Arch. des sc. phys.* (*Bibl. univ.*). T. XXII, p. 82.

Bonsdorff. — Oxydation dans l'air. *Bibl. univ.* T. XVIII (1838), p. 373.

Foucault. — Chaleur développée par l'influence magnétique sur un corps en mouvement. — *Comptes rendus de l'Acad. des sciences.* T. XLI, p. 450 (17 septembre 1855).

NOTES

RELATIVES

X DÉVELOPPEMENTS MATHÉMATIQUES

DE QUELQUES POINTS PARTICULIERS [1].

NOTE A (p. 10).

RELATIVE A LA PROPAGATION DE L'ÉLECTRICITÉ.

s avons dit que M. Kirchoff avait cherché à déterminer les lois de la ation de l'électricité dans les cas autres que celui de la propagation e et en particulier dans celui d'une plaque conductrice. Il nous est ible de reproduire dans cette note le travail de M. Kirchoff; nous ntenterons d'exposer la marche qu'il a suivie et de montrer comment, tant des principes établis par Ohm, principes que Ohm lui-même a ıés à la propagation linéaire de l'électricité, il est parvenu à détermi- at stationnaire que prennent les tensions électriques aux divers points laque conductrice placée dans le circuit d'une pile, et comment les ts déduits de ses calculs ont pu être vérifiés expérimentalement.

irchoff admet, d'après Ohm, que, s'il y a entre deux élements infi- voisins d'un même conducteur linéaire une différence de tension nécessairement infiniment petite), il passe constamment de l'un éléments à l'autre une quantité d'électricité proportionnelle à la ce des tensions, à la section du conducteur, au coefficient de conduc- et inversement proportionnelle à la distance des deux éléments. Ces es, qui sont les mêmes que nous avons déjà établis pour la propaga- éaire, une fois admis, voici comment Kirchoff y applique le calcul. eu des points où la tension a une même valeur déterminée, forme éral une courbe qui jouit de la propriété d'être normale en chacun points à la direction suivant laquelle l'électricité se propage, puis- sulte immédiatement du principe posé ci-dessus, qu'il n'y a aucun nent de l'électricité d'un point à un autre de cette courbe. D'après connaissance des courbes d'égale tension conduira évidemment à aissance complète de la propagation de l'électricité. Or, pour arri- équations de ces courbes, il faut d'abord trouver l'expression de on u en un point quelconque de la plaque en fonction des coordon- ce point, et l'équation qu'on obtiendra en égalant cette fonction rdonnées à une constante, sera l'équation d'une courbe d'égale

[1] Les développements ne sont pas exclusivement mathématiques; il est deux des notes (la note C et la note E) dont les développements sont nt physiques.

tension pour une tension déterminée; toutes les autres s'obtiendront de même en faisant varier la constante.

M. Kirchoff commence par chercher l'expression de la quantité d'électricité qui passe dans l'unité de temps à travers un élément quelconque d'une courbe; pour cela il considère d'abord deux courbes d'égale tension infiniment voisines, et sur ces courbes deux éléments compris entre les mêmes normales; le parallélipipède ayant pour base le rectangle compris entre les deux éléments et les deux normales et pour hauteur l'épaisseur de la plaque peut être assimilé à un conducteur linéaire, puisque l'électricité ne s'y propage que parallèlement aux normales. Par conséquent, si on appelle ds la longueur de l'élément pris sur la première courbe, dr la distance des deux courbes comptée sur la normale, δ l'épaisseur de la plaque, k le coefficient de conductibilité, la quantité d'électricité qui traverse dans l'unité de temps l'élément ds, est représentée d'après les principes de Ohm par :

$$-k\delta ds\frac{du}{dr}\text{[1]}.$$

Menons une parallèle à l'axe des x qui traverse le rectangle, soit φ l'angle que fait cet axe avec la normale aux courbes d'égale tension et ε la portion de cette parallèle interceptée entre les deux normales, on a : $ds = \varepsilon \sin.\varphi$, et l'expression précédente devient :

$$-k\varepsilon\sin.\varphi\frac{du}{dr}.$$

Soient x et y les coordonnées de l'extrémité de l'élément ds, $x+dx$ et $y+dy$, celles de l'extrémité correspondante de l'élément de la seconde courbe, on a :

$\frac{du}{dr}=\frac{du}{dx}.\frac{dx}{dr}+\frac{du}{dy}.\frac{dy}{dr}$ et comme $\frac{dx}{dr}=\cos.\varphi$ et $\frac{dy}{dr}=\sin.\varphi$, on a :

$$\frac{du}{dr}=\frac{du}{dx}\cos.\varphi+\frac{du}{dy}\sin.\varphi.$$

D'un autre côté $\frac{du}{ds}=o$ puisqu'il s'agit d'une courbe d'égale tension, condition qui se met sous la forme de : $\frac{du}{dr}\sin.\varphi-\frac{du}{dr}\cos.\varphi=o$.

On tire des deux équations précédentes la valeur de $\sin.\varphi$ et en la portant dans l'expression trouvée ci-dessus pour le flux d'électricité, on obtient pour cette expression :

$$-k\delta\varepsilon\frac{du}{dy}.$$

Or, il faut aussi remarquer que c'est l'expression de la quantité d'électricité qui traverse ε, c'est-à-dire l'élément d'une courbe quelconque ds.

[1] Le signe — provient de ce que l'électricité passe d'une courbe de plus forte à une courbe de moins forte tension.

que la direction des axes était complétement arbitraire, en sorte que
ctricité qui traverse dans l'unité de temps un élément de courbe se
ve représentée par $-k\delta\, ds \frac{du}{dN}$, en désignant par du la variation de ten-
qui correspond à un déplacement infiniment petit dN compté sur la
ale à la courbe.

ne s'agit plus maintenant que d'établir les équations différentielles en
mant que l'état de la plaque est devenu stationnaire. D'abord si l'on
ait sur la surface une courbe fermée qui ne contienne aucun des
s par où l'électricité pénètre ou d'où elle sort, il doit sortir de l'es-
qu'elle enveloppe autant d'électricité qu'il doit y en entrer, ce qui
qu'on ait :

$$\int ds \frac{du}{dN} = 0.$$

second lieu, si l'on conçoit une courbe fermée qui enveloppe un
ode par lequel il arrive dans l'unité de temps une quantité E d'é-
cité, on devra avoir :

$$-k\delta \int ds \frac{du}{dN} = E.$$

fin, si la plaque est limitée, il faudra qu'on ait sur tout le contour
$= o$, condition qui exige que les courbes d'égale tension se terminent
nalement au contour de la plaque.

problème est donc mis ainsi en équation, et M. Kirchoff l'a résolu
sa plus grande généralité. Dans le cas de deux électrodes A_1 et A_2
nt circuler dans l'unité de temps sur la plaque une quantité E d'é-
cité, M. Kirchoff trouve pour u l'expression suivante :

$$u = M + \frac{E}{r k \pi \delta} \log. \frac{r_2}{r_1}.$$

laquelle M est une constante qu'on détermine par la connaissance
tension en un seul point de la plaque, et dans laquelle r_1 et r_2 sont les
nces d'un point quelconque de la plaque aux deux électrodes A_1 et A_2.
après ce que nous avons dit, les équations des courbes d'égale tension
nt $\frac{r_2}{r_1} =$ constante ; ces courbes sont donc des cercles qui ont leurs
res sur la ligne $A_1 A_2$ dans une situation telle que les extrémités du
être de chaque cercle soient placées harmoniquement par rapport
oints A_1 et A_2 ; les courbes, normales aux précédentes, sont en consé-
ce tous les cercles qui passent par les deux électrodes, et il résulte
que ce cas se trouve être celui d'un disque circulaire communiquant
eux électrodes par deux points de sa circonférence, puisque la con-
n relative au contour est précisément satisfaite.

Kirchoff a vérifié les résultats de sa théorie par des expériences va-
Il a d'abord étudié la forme des lignes d'égale tension sur une

plaque circulaire communiquant par deux points de son contour avec les électrodes d'une pile. Pour cela, on touchait la plaque avec les extrémités du fil d'un galvanomètre et on déterminait les positions relatives qu'il fallait donner à ces deux extrémités pour ne produire aucune déviation de l'aiguille; dans ce cas, les deux points de contact appartenaient à une courbe d'égale tension, car il est clair que le contact des bouts du fil galvanométrique n'apportait aucune perturbation à l'état électrique de la plaque. M. Kirchoff a vérifié ainsi d'une manière très-satisfaisante la forme et la position assignée par la théorie à ces courbes.

En second lieu, l'expression $u = M + N \log. \frac{r_2}{r_1}$ s'est trouvée parfaitement d'accord avec les résultats obtenus par une autre série d'expériences dans lesquelles la différence des tensions de deux points pris sur la plaque était neutralisée par la force électro-motrice d'un couple thermo-électrique qui servait à la mesure de cette différence.

La résistance d'un disque métallique, dont M. Kirchoff a aussi déterminé l'expression théorique, s'est trouvée toujours beaucoup trop faible pour se prêter à une mesure exacte.

Enfin, M. Kirchoff a fait une autre série d'expériences en mesurant les déviations d'une petite aiguille aimantée suspendue à une très-petite distance, successivement au-dessus des divers points du disque; il a trouvé ces déviations d'accord avec celles qu'il avait déterminées théoriquement de la manière suivante :

Si la distance de l'aiguille au plateau est suffisamment petite, les actions électro-dynamiques des points du plateau, situés immédiatement au-dessous des deux pôles de l'aiguille, contribuent seules à la faire dévier. Or, soit φ l'angle que fait la direction du courant en un point du disque avec le méridien magnétique pris pour axe des x, soit i l'intensité de ce courant en ce même point, X et Y les composantes suivant les axes des x et des y de l'action électro-dynamique exercée sur le pôle situé au-dessus de ce point, on aura :

$$X = ki \sin. \varphi, \text{ et } Y = ki \cos. \varphi.$$

k étant une constante. D'après la théorie précédente, u désignant la tension en ce même point, on a :

$$i \sin. \varphi = m \frac{du}{dy} \text{ et } i \cos. \varphi = m \frac{du}{dx}$$

m étant une constante; d'où l'on tire, en posant $mk = \mu$,

$$X = \mu \frac{du}{dy} \text{ et } Y = \mu \frac{du}{dx}.$$

Considérons maintenant une petite aiguille aimantée mobile autour de son centre. Soient u' et u'' les tensions des points du disque situés au-dessous de chacun des deux pôles; on a :

$$X' = \mu \frac{du'}{dy} \text{ et } Y' = \mu \frac{du'}{dx} \text{ pour l'un des points, et}$$

$$X'' = \mu \frac{du''}{dy} \text{ et } Y'' = \mu \frac{du''}{dx} \text{ pour l'autre point.}$$

ır que l'aiguille soit en équilibre, il faut que le moment de ces pris par rapport à son milieu, soit proportionnel au moment ma- ıe. Si donc ψ est la déviation fixe qu'éprouve l'aiguille, on aura :

$$L.\psi = M\left(\frac{du'}{dy}\sin.\psi - \frac{du'}{dx}\cos.\psi + \frac{du''}{dy}\cos.\psi - \frac{du''}{dx}\sin.\psi\right).$$

nplacera les dérivées de u par leurs valeurs tirées de l'expression ension considérée aux deux points placés au-dessous des pôles, et :hoff arrive ainsi pour ψ à l'expression suivante :

$$\psi = k\,\frac{(R-L)(R+L)+\rho^2}{\{(R-L)^2+\rho^2\}\{(R+L)^2+\rho^2\}}.$$

ıquelle R est le rayon du disque, 2L la longueur de l'aiguille ai- , et ρ la distance du centre de l'aiguille au centre de la plaque. Les ts de l'expérience sont parfaitement d'accord avec ceux que donne ırmule.

deux mémoires publiés quelque temps après le travail de M. Kirchoff, ıasen a traité la question de la propagation de l'électricité, non- ent dans un plan, mais dans un conducteur à trois dimensions; la le qu'il suit est analogue à celle que nous venons d'étudier; au lieu ches d'égale tension, ce sont des surfaces d'égale tension que l'on ıre; le flux d'électricité qui traverse pendant le temps infiniment t, un élément superficiel ds, est encore :

$$-k\,ds\,dt\,\frac{du}{dN}.$$

uation différentielle à laquelle M. Smaasen parvient en exprimant tationnaire du conducteur est :

$$\frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} + \frac{d^2u}{dz^2} = 0,$$

ns le cas d'une plaque devient : $\frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} = 0$,

n qui n'est qu'une transformation de celle obtenue par Kirchoff forme : $\int ds\,\frac{du}{dN} = 0$ [1].

ıus avons tiré les détails qui précèdent des excellents extraits que M. Verdet ıés des travaux de M. Kirchoff et de ceux de M. Smaasen dans les ıs *de chimie et de physique*, t. X, p. 115, 236 et 327 ; extraits auxquels ıvoyons les personnes qui désirent approfondir davantage ce sujet diffi- ıntéressant.

NOTE B (p. 28).

RELATIVE AUX COURANTS DÉRIVÉS.

Soient I l'intensité du courant *primitif*, I' l'intensité du courant *principal*, i et i' les intensités respectives des courants *partiel* et *dérivé*. Soient l et l' les résistances ou les longueurs réduites des portions de circuit correspondantes au courant partiel et au courant dérivé; L étant la résistance ou la longueur réduite de la portion du circuit qui ne change pas, c'est-à-dire qui est comprise entre les points de dérivation, la résistance pour le courant *primitif* est $L+l$. On a, en appelant E la force électromotrice :

$$I=\frac{E}{L+l} \text{ et } I'=\frac{E}{L+\frac{ll'}{l+l'}}=\frac{E(l+l')}{L(l+l')+ll'}.$$

En effet, la résistance pour le courant principal est L, longueur réduite de la partie constante du circuit, plus celle du conducteur formé par les deux longueurs réduites l et l' qui équivaut, comme nous l'avons vu (p. 26, *note*), à celle d'un seul circuit dont la longueur est égale à $\frac{ll'}{l+l'}$

On sait en outre que les proportions du courant qui passent respectivement dans deux conducteurs aboutissant aux mêmes points de jonction, sont en raison inverse des résistances de ces deux conducteurs, pourvu qu'ils ne renferment pas de force électromotrice; on a donc :

$$i : i' = l' : l, \text{ d'où } i : i+i' = l' : l+l', \text{ d'où on tire :}$$

$$i=(i+i')\frac{l'}{l+l'}=\frac{E\,l'}{L(l+l)+ll'},$$

en mettant à la place de $i+i'=I$ la valeur de I.

On a de même $i'=\frac{E\,l}{L(l+l')\,ll'}$.

Telles sont les valeurs des courants primitif, principal, partiel et dérivé; comme on le voit, elles sont déterminées en se fondant uniquement sur les lois de Ohm. On peut les déduire aussi des formules auxquelles conduisent les lois de Kirchoff appliquées au cas particulier que nous venons d'envisager, le plus simple de ceux que présentent les courants dérivés. En effet, ces lois permettent de déterminer, dans le cas où la dérivation est multiple, l'intensité et le sens du courant dans chaque fil de dérivation pourvu qu'on connaisse la résistance de chaque portion du circuit comprise entre deux points de dérivation successifs et la force électro-motrice. Voici ces lois :

1° En considérant comme positives les intensités des courants qui convergent vers un *nœud*, c'est-à-dire vers un point de dérivation, et comme négatives celles des courants qui en divergent, la somme algébrique des

des courants qui aboutissent à un même nœud est nulle. On a :

; un circuit quelconque fermé et unique, la somme algébrique
ı électromotrices comptées comme positives si elles déterminent
nt dans un certain sens pris arbitrairement, et comme négatives
déterminent en sens contraire, est égale à la somme des pro-
on obtient en multipliant l'intensité du courant qui circule dans
ortion comprise entre deux nœuds (les intensités étant comptées
ême sens que les forces électromotrices), par la résistance de
teur : $\Sigma e = \Sigma il$. On voit comment, dans le cas où $\Sigma e = o$, c'est-
ns le cas que nous avons traité, on a $\Sigma il = o$, ce qui donne il -
$i' = l' : l$.

on ne connait pas d'avance le sens de chaque courant dérivé, il
ne la première loi soit complétement inutile. Mais en attribuant
rbitraire à chaque courant et en établissant les formules que
es lois de Kirchoff, on est conduit à une valeur positive de i, si le
arbitrairement était le bon, et à une valeur négative dans le cas

eatstone a appliqué les propriétés des courants dérivés à la cons-
le plusieurs appareils destinés à mesurer soit les résistances, soit
ités des courants, de manière à remplacer avantageusement le
L'appareil destiné à mesurer les résistances est fondé sur l'éga-
tensités du courant dérivé et du courant partiel, lorsque les deux
ıts qui les transmettent présentent des résistances égales. Il est
de façon que dans son état normal, les courants qui se divisent
fils conducteurs dont il est formé tendent à traverser le fil d'un
être dans des sens contraires, de sorte que, si ces courants sont
iguille n'éprouve aucune déviation. On introduit alors la résis-
onnue qu'on veut mesurer dans un des systèmes des fils con-
de l'appareil, ce qui fait dévier l'aiguille; alors, pour la ramener
ion primitive, on introduit dans l'autre système des fils conduc-
résistance qui est nécessairement égale à la résistance inconnue
sert de mesure. L'appareil est composé de quatre fils métalli-
blables disposés sur une planchette en bois de manière à former
e. Les deux pôles de la pile sont placés aux deux angles aigus de
, et les deux bouts du fil du galvanomètre aux deux angles obtus.
ruptions, soit des solutions de continuité sont ménagées dans
côtés du losange, savoir ceux qui forment l'un des angles obtus,
mmet est le point d'attache de l'une des extrémités du fil galvano-
C'est l'une de ces interruptions qui est comblée par la résistance
t mesurer, pendant que l'autre l'est par la résistance connue,
st égale à la résistance inconnue quand l'aiguille du galvano-
te à 0°.

e appareil, fondé sur les mêmes principes, a pour objet de dé-

terminer avec exactitude la déviation de l'aiguille du galvanomètre qui correspond à un courant d'une intensité moitié de celle du courant qui a produit une déviation donnée. Soit E la force électromotrice, r la résistance du galvanomètre, R la somme de toutes les résistances du circuit. On a $I = \frac{E}{R+r}$. En introduisant dans le circuit un fil de dérivation dont la résistance soit égale à celle du galvanomètre, c'est-à-dire à r, l'intensité du courant principal devient $\frac{E}{R+\frac{r}{2}}$; le fil de dérivation est placé de manière que c'est par le fil du galvanomètre que passe le courant partiel qui est égal au courant dérivé, puisque ce fil et le fil de dérivation ont la même résistance. Si maintenant on introduit dans la portion principale du circuit une résistance égale à $\frac{r}{2}$, c'est-à-dire un fil dont la résistance soit égale à la moitié de celle du galvanomètre, l'intensité du courant principal deviendra $\frac{E}{R+\frac{r}{2}+\frac{r}{2}} = \frac{E}{R+r}$, c'est-à-dire égale à celle du courant primitif, avec cette seule différence que ce n'est plus que la moitié de ce courant qui passe par le fil du galvanomètre, tandis qu'auparavant c'était le courant tout entier. Il en résulte que les deux déviations de l'aiguille correspondent à des courants dont les intensités sont exactement l'une la moitié de l'autre.

Nous ne nous arrêterons pas à la description de l'appareil, facile du reste à concevoir, au moyen duquel M. Wheatstone a mis en pratique la méthode que nous venons d'expliquer. Nous nous bornerons à remarquer que cette méthode peut servir à mesurer les courants sans introduire dans leur circuit le fil d'un galvanomètre, introduction qui présente l'inconvénient de modifier notablement les conditions de ce circuit, du moins dans la plupart des cas, ou, lorsqu'il s'agit de courants énergiques, de ne pouvoir se servir de galvanomètres sensibles. Il suffit, en effet, d'attacher les deux extrémités du fil galvanométrique à deux points du conducteur par lequel passe le courant qu'on veut mesurer; on obtient ainsi au galvanomètre un courant dérivé dont l'intensité est à celle du courant primitif comme $\frac{n}{n+1} : 1$, n étant le rapport qui existe entre la résistance du fil de dérivation qui est ici celui du galvanomètre et celui du fil conducteur du courant partiel. Seulement, il faut avoir soin d'ajouter dans la portion principale du circuit, un fil dont la résistance soit $\frac{r}{n+1}$, afin que, en compensant l'effet de l'addition du fil de dérivation, on amène le courant principal à demeurer égal au courant primitif. Il est aisé, en prenant les formules qui donnent les valeurs des courants primitif, principal, partiel et dérivé, d'obtenir les résultats que nous venons d'énoncer, pourvu qu'on ait soin de remplacer dans ces formules l résistance du conducteur par-

par r, et l' celle du fil de dérivation, par nr celle du fil du galvano-
re.

l s'agit seulement de connaître r et nr. Le rhéostat peut donner facile-
nt ces deux valeurs; mais quand il s'agit de déterminer nr, c'est-à-dire
résistance du fil du galvanomètre, l'emploi du rhéostat exige qu'on ait
second galvanomètre auxiliaire. M. Wheatstone a indiqué une méthode
permet de s'en passer, et qui consiste à avoir deux couples parfaite-
nt semblables, ce qui n'est pas difficile. En appelant g la résistance
rchée du fil du galvanomètre, on a pour l'expression de l'intensité du
rant avec un seul couple $\frac{E}{R+r+g}$, en désignant par R la résistance
ouple et par r celle du circuit extérieur au couple, non compris le
galvanomètre. Si l'on met les deux couples égaux en série, et qu'on
me λ la résistance, soit la longueur réduite, du conducteur qu'il faut
ter au circuit pour que le courant ait la même intensité qu'il avait
qu'il n'y avait qu'un couple, on a pour l'expression de l'intensité :
$\frac{2E}{r+g+\lambda} = \frac{E}{R+r+g}$, d'où on tire $g = \lambda - r$.

rmi les nombreuses questions qui se rattachent à la théorie des cou-
s dérivés, il en est une qui a beaucoup occupé les physiciens et qui
pas encore résolue; c'est de savoir si un même conducteur peut être
ersé en même temps par deux courants dirigés en sens contraires. On
cru pouvoir résoudre la question en prenant deux piles semblables
ées par leurs pôles opposés au moyen de deux fils conducteurs paral-
s: puis, on unissait directement ces deux fils par un gros fil bon con-
ur transversal, en ayant soin que les deux circuits partiels formés
fussent parfaitement semblables, ce dont on s'assurait en prenant
conducteur transversal le fil d'un galvanomètre qui ne devait éprouver
me déviation, si les deux circuits partiels étaient parfaitement égaux.
bservait alors l'intensité du courant transmis à travers les deux circuits
iels, d'abord avec le conducteur transversal, ensuite quand il était
vé; or cette intensité restait exactement la même, que le conducteur y
ou n'y fût pas, d'où l'on concluait qu'il ne transmettait aucune portion
courant. Il est facile de voir que cette constance dans l'intensité du cou-
peut aussi bien s'interpréter, en admettant que le conducteur trans-
al transmet par dérivation une certaine proportion du courant de cha-
e des piles, qu'en admettant qu'il n'en transmet point. Il n'y a qu'à
dre, pour le courant de chacune des deux piles, l'expression du courant
vé et du courant partiel, pour voir que l'addition du conducteur trans-
al ne fait rien changer à l'égalité, compensant exactement d'un côté
u'elle fait perdre de l'autre.

a voit donc qu'au point de vue pratique la question n'a point d'impor-
e, et qu'elle est parfaitement bien résolue par la théorie des courants
rsés. Au point de vue théorique, il nous semble qu'il est difficile d'ad-

mettre que les mêmes molécules successives d'un conducteur puissent transmettre à la fois deux courants dirigés en sens contraire. En effet, il faudrait pour cela que les particules fussent à la fois polarisées dans deux sens opposés, ce qui est impossible. Il nous paraît plus problable que si les deux courants contraires sont parfaitements égaux, les deux polarisations opposées se détruisent, et qu'ainsi il n'y a aucune propagation de l'électricité. Si les deux courants sont inégaux, les molécules sont polarisées avec une intensité égale à la différence d'intensité des deux courants; il ne passe par conséquent à travers le fil conducteur qu'un courant qui est la différence des deux courants contraires. Les choses se passeraient donc dans ce cas comme dans celui de deux couples opposés, cas dans lequel nous avons été amenés à reconnaître qu'il n'y a transmission que d'un seul courant dû à la différence de force électromotrice des deux couples, et non pas de deux courants indépendants produits séparément par chacun des couples [1].

Nous avons supposé que les deux courants contraires étaient appelés à passer à travers la même file de molécules, ce qui est le cas quand ils aboutissent exactement aux mêmes points des deux extrémités d'un même conducteur. Mais s'ils n'aboutissent pas aux mêmes points, et si ce conducteur a de grandes dimensions, il nous paraît très-probable que les deux courants peuvent passer en même temps en sens contraire, et qu'alors ils sont propagés par des séries différentes de molécules. Toutefois, il est difficile, vu la tendance à la dissémination, soit à l'expansion du courant, qu'il y ait une indépendance complète des deux courants, et que leur présence simultanée dans le même conducteur ne modifie pas la route qu'ils suivraient s'ils traversaient seuls et séparément ce conducteur. Il y aurait là une étude intéressante à faire; elle avait été commencée par M. Nobili [2]; mais une mort prématurée avait empêché ce savant et ingénieux physicien de la poursuivre comme il comptait le faire. Espérons qu'elle sera reprise et nous ne doutons pas qu'elle ne conduise à des résultats importants.

NOTE C (p. 95).

RELATIVE AUX LOIS DES DÉCHARGES DES BATTERIES ÉLECTRIQUES.

Voici comment Riess est parvenu à établir la loi de la proportionnalité de la portée explosive de la décharge à la densité de l'électricité accumulée sur le conducteur d'où part l'étincelle; loi qui s'exprime par la formule $d = b.\frac{q}{s}$; d exprimant la distance à laquelle a lieu la décharge, soit la portée explosive, q la quantité absolue d'électricité accumulée, s la surface du conducteur (le rapport $\frac{q}{s}$ étant ainsi la densité moyenne de l'électricité.

[1] Voyez plus haut, tome II, page 757.

[2] *Bibliothèque universelle*, t. LIX (1835), p. 263 et 416.

et enfin b étant une constante. Nous avons déjà vu que les expériences de Riess au moyen du micromètre à étincelles déterminent cette constante b et donnent une vérification remarquable de la loi, tellement qu'en partant de la valeur trouvée pour b, qui est 0,833, on peut se servir de la formule ci-dessus pour en tirer q, quand on connaît d et s. Mais il nous reste à connaître la méthode que Riess a suivie pour établir la loi. Elle consiste à faire varier la distance des disques d'un condensateur, et à mesurer, au moyen de la balance de torsion, la densité de l'électricité libre sur le plateau collecteur. On construit ainsi des tableaux où se trouvent en regard les distances des plateaux et les densités correspondantes de l'électricité libre. Dans une seconde série d'expériences, on fait passer la distance des disques par les mêmes valeurs que dans la première série, et en mesurant les portées explosives au moyen du micromètre à étincelles, on obtient de nouveaux tableaux où se trouvent en regard les distances des plateaux et les portées explosives correspondantes. Dès lors, il ne reste plus qu'à constater qu'il existe approximativement entre les densités les mêmes rapports qu'entre les portées explosives.

L'appareil condensateur se compose de deux disques en laiton supportés verticalement sur des pieds isolants, et dont l'un, le condensateur, est disposé de façon à glisser le long d'une règle graduée dont les divisions indiquent les distances respectives des deux disques. A la surface extérieure du collecteur est fixé normalement un fil conducteur terminé par une boule; c'est la densité électrique de cette sphère qui sert de mesure à celle du plateau; la détermination de cette densité se fait ensuite avec une petite boule d'épreuve, qu'on place au 0° de la balance de torsion; le rapport des angles de torsion donne le rapport des densités qui varient avec la distance des disques [1]. Riess prend pour unité la densité électrique du collecteur pour une distance infinie du condensateur, c'est-à-dire lorsque celui-ci n'agit plus. Voici un des tableaux ainsi construits :

Distances des disques.	∞	50	20	15	10	5	4	3	2
Densités.	1	0,897	0,683	0,595	0,492	0,335	0,286	0,235	0,173

La mesure des portées explosives se fait au moyen du micromètre à étincelles, dont la boule fixe communique avec la sphère du collecteur et la boule mobile avec le sol. Voici un tableau correspondant au précédent et

[1] Il faut remarquer en effet qu'on commence par charger le disque collecteur, quand il est hors de l'influence du disque condensateur, de toute l'électricité que peut lui transmettre la source avec laquelle il est en communication, puis on approche graduellement le collecteur de manière à diminuer constamment la quantité d'électricité libre, qui doit en effet devenir d'autant moindre que les disques sont plus rapprochés, la quantité totale d'électricité restant toujours constante. — C'est cette quantité libre dont on compare la densité et la portée explosive.

dans lequel l'unité de portée explosive est celle qu'on trouve pour une distance infinie des disques.

Distances des disques.	∞	50	20	10	5	2
Portées explosives.	1	0,914	0,687	0,451	0,272	0,165

On voit, en comparant les deux tableaux, que les résultats numériques concordent d'autant mieux que la distance des disques est plus grande, ce qui tient sans doute à l'influence de la boule mobile sur la fixe, influence dont l'énergie s'accroît très-rapidement lorsque les deux boules se rapprochent. C'est au moyen d'un grand nombre d'expériences analogues à celles dont les résultats sont contenus dans les tableaux ci-dessus, que Riess parvient à la loi importante que *la distance explosive en un point du disque collecteur est proportionnelle à la densité électrique en ce point.*

NOTE D (p. 157 et 170).

RELATIVE AU THERMOMÈTRE ÉLECTRIQUE ET AU RÉCHAUFFEMENT DES FILS PAR LE PASSAGE DE L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE.

Voici la manière dont Riess établit la formule qui, dans le thermomètre électrique, donne la température du fil traversé par la décharge, quand on a observé l'abaissement du liquide dans le tube thermométrique.

Soit T la température du fil au moment où la décharge passe. C'est celle qu'il s'agit de déterminer. L'échauffement du fil élève la température de l'air du ballon et le fait passer de t à t', sa force élastique augmente par conséquent, et devient p' de p qu'elle était; or, on a la relation suivante : $\frac{p'}{p} = \frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t}$, ou $p'-p = p\frac{t'-t'}{\frac{1}{\alpha}+t}$, dans laquelle α est le coefficient de dilatation de l'air, et p la pression barométrique observée au moment de l'expérience que nous désignerons plus bas par b.

Soit θ le nombre de divisions parcourues par le liquide (l'unité employée par Riess est la ligne), soit φ l'angle que fait la direction du tube gradué avec la verticale; $\theta \cos. \varphi$ est la hauteur de la colonne du liquide déplacée par la force élastique de l'air du ballon, et $\theta \frac{\cos. \varphi}{u}$ la hauteur de cette colonne ramenée à ce qu'elle serait si le liquide était du mercure. On aurait donc $b + \frac{\theta \cos. \varphi}{u} = p'$, si l'on ne tenait pas compte du changement de volume de l'air. Or, soit K le volume primitif de l'air exprimé en lignes cubes, soit d la section du tube; le rapport des deux volumes occupés par la même masse d'air est, en faisant

$$\frac{K}{d} = k;\ \frac{k+\theta}{k} \text{ ou } 1+\frac{\theta}{k}. \text{ On a donc : } p' = \left(b + \frac{\theta \cos. \varphi}{u}\right)\left(1+\frac{\theta}{k}\right.$$

ant p et p' par leurs valeurs dans la première équation ci-
onnant par rapport à θ, on arrive à l'équation suivante :

$$\theta^2+\theta\left(\frac{bu}{\cos.\varphi}+k\right)-\frac{kub}{\cos.\varphi}\frac{(t'-t)}{\left(\frac{1}{\alpha}+t\right)}=0,$$

en posant $\frac{u}{\cos.\varphi}=e$

$$\frac{+eb}{2}\pm\frac{k+eb}{2}\sqrt{1+\frac{4keb}{\left\{\left(\frac{1}{\alpha}+t\right)(k+eb)\right\}^2}(t'-t)}$$

ment de l'expression qui est sous le radical donne, lorsque k
1 par rapport aux autres quantités qui y entrent, ce qui est
e série très-convergente dont les deux premiers termes suf-
outes les valeurs $(t'-t)$ qui peuvent se présenter dans les
On a ainsi pour θ l'expression fort simple :

$$\theta=\frac{kb}{\left(\frac{1}{\alpha}+t\right)\left(\frac{k}{e}+b\right)}(t'-t)\ (1).$$

rimer maintenant l'élévation de température du fil en fonc-
vation de température de l'air du ballon; c'est dans cette
on calcul que Riess néglige l'action de l'enveloppe de verre
lle contient; mais nous avons déjà dit que cette action calo-
igligeable, car l'abaissement du liquide a lieu dans un temps
t la différence des températures de l'enveloppe et de l'air est
rêmement faible. Soit donc M la masse du fil qui traverse le
chaleur spécifique, m et c les mêmes éléments pour l'air.
ilibre des températures s'est établi, on a nécessairement la
ante :

$$t)\,MC=(t'-t)\,mc,\ \text{d'où}\ T-t=(t'-t)\frac{mc+MC}{MC}.$$

ace ici m par $\frac{\mu b}{1+\alpha t}$, en appelant μ la masse d'air qui rempli-
e volume du ballon à la température 0° et sous la pression
En faisant ainsi entrer dans l'expression de m les valeurs de
arrive ensuite à pouvoir comparer entre elles les expériences
les ces éléments ne sont plus les mêmes. On a donc :

$$T-t=(t'-t)\left(\frac{\mu bc}{MC(1+\alpha t)}+1\right)\ (2).$$

ant maintenant $(t'-t)$ entre les équations 1 et 2, on ar-
elation suivante :

$$t=\left\{\left(\frac{1}{\alpha}+t\right)\left(\frac{1}{cb}+\frac{1}{k}\right)\left(\frac{\mu bc}{MC(1+\alpha t)}+1\right)\right\}\ (3),$$

d'après laquelle on voit que l'élévation de température du fil est proportionnel à θ, pourvu que t et b soient constants.

Il est facile, du reste, de montrer que les erreurs qu'on commet en se servant de la formule (3) sont beaucoup moindres que l'erreur inévitable qu'entraîne l'expérience, et que cette erreur dépasse les corrections qu'il faudrait introduire, en supposant que t et b ne fussent pas constants. Il suffit pour cela de différentier successivement l'équation (1) par rapport à b et à t, comme l'a fait Riess; les expressions qu'on trouve pour $d\theta$ confirment complétement notre assertion.

En effet, la différentielle de la valeur de θ par rapport à b est :

$$d\theta = \frac{\dfrac{\mu c}{MC(1+\alpha t)} - \dfrac{k}{eb^2}}{\left(\dfrac{k}{eb}+1\right)\left(\dfrac{\mu c b}{MC(1+\alpha t)}+1\right)}\,\theta\, db.$$

et elle est par rapport à t :

$$d\theta = \frac{\alpha\,\theta\, dt}{\dfrac{\mu b c}{MC} + (1+\alpha t)}$$

Dans le cas très-défavorable où un fil de platine de $0^l,1$ de diamètre et de 3^l de longueur serait placé dans le ballon, on a :

1° Si la hauteur barométrique varie de 360 à $360 + db$, $d\theta = 0{,}000355\,\theta\, db$.

2° Pour une variation de température de 15° à $15° + dt$, $d\theta = 0{,}0000095\,\theta\, dt$.

C'est au moyen du thermomètre électrique dont nous venons de donner la théorie, que Riess a établi ses belles lois sur le réchauffement opéré par les décharges électriques. Nous avons rapporté les plus importantes de ces lois dans le corps de l'ouvrage, p. 162 et suiv., et notre intention était de les reproduire toutes ici avec détails; mais nous avons été arrêtés par la nécessité de conserver une juste proportion dans l'étendue à donner à chaque partie du vaste sujet qui fait l'objet de cet ouvrage, pour ne pas dépasser les limites que nous nous sommes imposées. Nous renvoyons donc ceux de nos lecteurs qui désireraient connaître ces détails à l'excellent traité de Riess sur l'électricité de frottement (*Die Lehre von der Reibungs electricität von* P.-T. Riess, Berlin, 1853); il est impossible de présenter d'une manière plus complète cette partie spéciale, mais importante, des phénomènes électriques.

NOTE E (p. 315).

RELATIVE A LA DÉCOMPOSITION ÉLECTROLYTIQUE DES COMPOSÉS COMPLEXES.

Nous n'avons pu donner dans le texte qu'un extrait très-sommaire des recherches de MM. Daniell et Miller sur ce sujet; c'est pourquoi, nous tenons à compléter dans cette note la lacune qui est résultée de la néces-

où nous étions, pour ne pas trop allonger, de supprimer tous les eloppements qui n'étaient pas indispensables.

MM. Daniell et Miller ont fait usage dans leurs expériences de leur appa- à trois cellules, séparées par deux diaphragmes en vessie, et disposé de qu'on pouvait recueillir les gaz dégagés dans les deux cellules extrêmes surface de deux électrodes de platine qui y plongeaient. Un voltamètre à acidulée était dans le circuit pour mesurer la force électromotrice. Les cellules étaient remplies, soit du même liquide, soit de liquides dif- ts. Les premiers essais ont porté sur les *phosphates* et ont prouvé les trois hydrates d'acide phosphorique constituent trois acides essen- ment distincts qui, lorsqu'ils sont dégagés, par l'action voltaïque, de trois combinaisons salines correspondantes, sont transportés dans reuit comme trois *oxyphosphions* distincts. Ce résultat se déduit d'une ère évidente de la comparaison de l'hydrogène dégagé avec l'acide porté, dans les cas où l'on soumet successivement à l'électrolyse le phate monobasique de soude et les phosphates bibasique et triba- du même alcali.

s expériences faites avec des arséniates et des arsénites de potasse, des carbonates et des oxalates, avec des sulfates, des sulfites et des sulfites, ont confirmé MM. Daniell et Miller dans la manière d'envi- l'électrolyse, à laquelle les avaient conduits leurs premières re- ches. Mais l'emploi des dissolutions de ferrocyanure de potassium, des sels doubles, tels que les sulfates de cuivre et de potasse, de ésie et de potasse, leur avaient donné des résultats difficiles à conci- avec les théories reçues de l'électrolyse. Nous ne rapporterons pas tes ces expériences dont on peut trouver le détail dans le Mémoire M. Daniell et Miller, inséré dans les *Trans. Phil. de la Soc. R. de* ons *de* 1844, 1re *partie*. Nous nous contenterons de donner les conclu- qu'en avaient tirées les auteurs, conclusions qui consistent à distin- les électrolytes en plusieurs classes, savoir :

Ceux qui consistent en *ions* [1] simples ou élémentaires, et qui sont posés d'un simple équivalent de métal ou d'hydrogène pour *cation* [1], un simple équivalent d'un élément non métallique pour *anion* [1] ; ce les électrolytes simples ;

Ceux qui sont composés d'un simple équivalent d'un *cation* composé prend la place du métal et d'un simple équivalent d'un *anion* non llique ; tel que $Az\,H_4\,Cl$. (hydrochlorate d'ammoniaque) ;

Ceux qui sont composés d'un simple équivalent d'un *anion* composé prend la place d'un *anion* élémentaire non métallique et d'un simple

[1] MM. Daniell et Miller appellent, avec Faraday, *ions* les produits de la décom- tion électrolytique d'une substance quelconque capable d'être électrolysée, ons ceux de ces produits qui se dégagent à l'électrode négatif, et *anions* au tif.

équivalent d'un *cation* élémentaire, métal ou hydrogène; tels que H, AzC_2 (acide hydrocyanique), K, SO_4 (sulfate de potasse), etc.;

4° Ceux qui sont composés d'un simple équivalent d'un *cation* composé et d'un simple équivalent d'un *anion* composé, tels que AzH_4SO_4 (sulfate d'ammoniaque).

Ces quatre classes d'électrolytes peuvent être désignées sous le nom d'*électrolytes monobasiques*, vu que pour électrolyser de simples équivalents de ces électrolytes, il suffit d'un équivalent de force électrique tel que le donne l'indication du voltamètre.

Reste une cinquième classe d'électrolytes que les auteurs désignent sous le nom de *polybasiques*; ils se composent de deux ou plusieurs équivalents d'un *cation* métallique (ou hydrogène), ou de simples équivalents de deux ou plusieurs *cations* métalliques (ou hydrogène), tandis que l'*anion* consiste en un simple équivalent d'un *ion* composé; tel est le ferrocyanure de potassium. Dans ce cas et dans celui en général des électrolytes polybasiques, il faut, pour l'électrolyse d'un seul équivalent de l'électrolyte, autant d'équivalents de force électrique qu'il y a d'équivalents de métal ou d'hydrogène dans le *cation*.

Parmi les anomalies signalées par MM. Daniell et Miller, nous citerons la remarque qu'ils ont faite, que ce n'est pas toujours par le transport à chaque électrode d'un demi équivalent exactement du *cation* et de l'*anion* que se fait la décomposition de l'électrolyte; mais il arrive dans quelques cas qu'il y a transport à l'électrode positif d'un équivalent entier de l'*anion*, pendant qu'un équivalent entier du *cation* reste libre à l'électrode négatif; quelquefois il y a transport de plus ou de moins d'un équivalent dans les deux directions opposées, de telle façon, cependant, qu'un équivalent entier de matière se trouve transporté en tout vers l'un ou l'autre électrode. En d'autres termes, il y a toujours transport d'une quantité totale de matière capable d'exercer un équivalent de force chimique; de sorte que, lorsque l'*anion* transporté à l'électrode positif excède un demi équivalent, le *cation* transporté à l'électrode négatif est en moins dans une proportion exactement égale à celle dans laquelle l'*anion* est en plus à l'électrode positif; mais l'*anion* et le *cation* qui sont dégagés à l'état libre à chaque électrode sont toujours en proportions équivalentes. Jamais cependant on n'observe le transport d'un équivalent entier de *cation* avec une absence complète de l'*anion*.

MM. Daniel et Miller croient voir dans les résultats de leurs recherches une objection sérieuse contre les théories moléculaires de l'électrolyse, telles qu'elles ont été formulées par Grotthus et par M. Daniell lui-même, et telles que nous les avons exposées. Nous croyons au contraire que toutes les anomalies ou exceptions apparentes à ces théories que peuvent présenter les faits observés par les savants anglais, s'expliquent très-bien, si on a égard à l'observation si juste de M. d'Almeida que, dans l'électrolyse des dissolutions, il faut tenir compte du pouvoir conducteur

fférentes parties du mélange qui forment la dissolution, de telle que ce sont les plus conductrices qui sont électrolysées, et que les nces qui se montrent aux électrodes sont souvent des produits laires. (Voyez, pour plus de détails, sur les recherches de M. d'Al-, son Mémoire original, *Annal des Sc. Phys.* (*Bibl. Univ.*), t. XXIX, dont nous avons exposé les principaux résultats dans le corps de ıge, p. 323 et suiv.)

NOTE F.

ÉTHODE DE M. POGGENDORFF POUR LA DÉTERMINATION DE LA FORCE ÉLECTROMOTRICE D'UN COURANT A FORCE NON CONSTANTE.

méthode de M. Poggendorff diffère essentiellement de toutes les s, en ce qu'elle mesure non le courant lui-même, mais la tendance formation du courant. Or, comme dans les courants à force non nte, c'est l'action du courant lui-même qui donne naissance aux s perturbatrices qui en détruisent la constance, il est évident que ces n'existent plus du moment que le courant n'entre pas en activité. Il donc de compenser le courant à force non constante par un courant e constante, et de déduire de la mesure de celui-ci la force électro-e du premier : l'on ne peut pas, il est vrai, créer des courants -électriques dont les forces électromotrices aient des valeurs déter-s ; mais l'on peut, une fois que l'on a une pareille force d'une na-onstante, en détourner à volonté une partie aliquote quelconque et loyer à cette compensation.

t A le couple à force constante, B le couple à force non constante ; eux métaux positifs sont joints ensemble au point P, les deux ifs au point N, et ces deux points de jonction sont réunis par le rteur O. Considérons les quantités suivantes :

Dans	O	A	B
Force électromotrice	e	e'	e''
Résistance	r	r'	r''
Intensité du courant			
Quand A agit seul	i	i'	i''
Quand B agit seul	i_2	i'_2	i''_2
d A et B agissent ensemble	I	I'	I''

près le principe que les courants produits par chaque couple s'a-nt ou se retranchent suivant leurs directions, sans se troubler, on nt les équations suivantes :

$$\left.\begin{array}{l} I = i + i_2 \\ I' = i' - i'_2 \\ I'' = i''_2 - i'' \end{array}\right\}$$

Les lois des courants dérivés donnent les deux relations qui suivent, en supposant que le couple A soit seul en activité.

$$i' = i + i''$$

$ir = i'' r'' = h'$, h' désignant l'un quelconque de ces deux produits; de ces deux équations l'on tire $h' = i'\left(\frac{1}{\frac{1}{r}+\frac{1}{r''}}\right)$.

Or $\frac{1}{r}+\frac{1}{r''}$ est la résistance du système conducteur formé par O et le couple B; donc h' représente la force électromotrice dans ce système, d'où il résulte l'équation

$$i' r' + h' = e'.$$

qui exprime que la force électromotrice du circuit est égale à la somme des forces électromotrices des différentes portions longitudinales de ce circuit.

De ces trois équations, on tire les valeurs de i, i' et i'' en faisant pour abréger $s = \frac{1}{r}+\frac{1}{r''}$.

$$i = \frac{e'}{r' s r} \qquad i' = \frac{e'(r' s - 1)}{r' s r'} \qquad i'' = \frac{e'}{r' s r''}$$

On trouve de la même manière les valeurs de i_2, i_2' et i_2'', en supposant que B seul soit en activité.

Les équations (1) deviennent maintenant

$$I = \frac{1}{s r}\left(\frac{e'}{r'}+\frac{e''}{r''}\right)$$

$$I' = \frac{1}{s r'}\left(\frac{e'(s r' - 1)}{r'} - \frac{e''}{r''}\right)$$

$$I'' = \frac{1}{s r''}\left(\frac{e''(s r'' - 1)}{r''} - \frac{e'}{r}\right)$$

Exprimons maintenant que l'intensité du courant dans le couple B est nulle.

$$I'' = 0.$$

ce qui donne :

$$e'' = \frac{r}{r + r'} e' \quad (1).$$

Substituant cette valeur de e'' dans les deux autres équations, on trouve :

$$I = I' = \frac{e'}{r + r'}.$$

et cette relation comparée à la précédente donne :

$$e'' = r I \quad (2).$$

Ainsi, au moyen d'un galvanomètre placé dans le circuit de B, on s'assurera qu'à chaque instant on a $I'' = 0$ et on se servira des relations (1) et (2) pour déterminer e'' qui est la force électromotrice du couple à force

constante. M. Poggendorff, en appliquant chacune de ces deux for-
, a été conduit aux deux procédés suivants.

Premier procédé :

B un couple ordinaire de zinc et de cuivre à un seul liquide; on
t pour A, un couple à force constante et considérable, par exemple
uple de Grove. On fait communiquer, au moyen d'un fil conducteur
plaques de zinc des deux couples, et au moyen du fil b, le zinc de B
le platine de A; enfin on joint par le fil c, cette plaque de platine
le cuivre de l'autre couple; le fil c renferme un galvanomètre très-
ble.

cet état de choses, le fil a et les liquides de A donnent la résis-
r', le fil b la résistance r, et lorsque ces deux résistances ont entre
un certain rapport, il n'y a pas de courant dans le fil c, ni par con-
dans le couple B; on arrive à ce résultat en modifiant peu à peu la
eur de b, jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre ne dévie plus du 0
ayant soin, après chaque approximation, de laisser pendant quelque
le circuit B ouvert pour faire disparaître toute trace de polarisation.
fois l'équilibre bien établi, M. Poggendorff mesure la résistance de b
la plus grande exactitude possible; les éléments du couple de Grove
té déterminés par les procédés ordinaires, et l'on trouve e'' par la for-

$$e'' = \frac{r + r'}{r} e'.$$

Poggendorff a obtenu une vérification de cette méthode en mesurant
e électromotrice d'un couple de Daniell, déjà obtenue par le procédé
m.

$$\text{Méthode de Ohm.} \begin{cases} \text{Grove.} & e' = 25{,}886. \\ \text{Daniell.} & e'' = 15{,}435. \end{cases} \quad \frac{e'}{e''} = 1{,}677.$$

$$\text{Méthode de compensation.} \begin{cases} r' = 35{,}03. \\ r = 52{,}68. \end{cases} \quad \frac{e'}{e''} = \frac{r + r'}{r} = 1{,}668.$$

Second procédé :

dispose les deux couples de la même manière que précédemment;
ment, il faut introduire dans le fil b un galvanomètre; lorsqu'on s'est
té que le courant du fil c est annulé, on mesure la résistance de b et
nsité du courant qui le traverse; si l'on se sert d'une boussole des
s, en appelant α l'angle de déviation de l'aiguille, on a pour e''.

$$e'' = r \sin \alpha.$$

procédé a sur le premier cet avantage que, α contenant implicite-
e' et r', lors même que ces éléments viennent à varier dans l'inter-
des expériences successives, ils entrent toujours dans le calcul avec
véritables valeurs, puisque la détermination de α se fait pour chaque
rience; dans le premier procédé, il faut dans ce cas déterminer de
en temps la force électromotrice et la résistance du couple à force
ante, ce qui nécessite un travail assez long. M. Poggendorff, en compa-

rant ces deux procédés, a montré qu'ils s'accordent avec un grand degré d'exactitude.

NOTE G (p. 760).

RELATIVE A LA THÉORIE MATHÉMATIQUE DE LA PILE.

Nous avons établi, dans le chapitre premier de notre quatrième partie, comme une des lois générales de la propagation de l'électricité, que l'intensité d'un courant dans un circuit fermé est proportionnelle à la somme algébrique des forces électromotrices qui sont développées par une cause quelconque dans les différentes parties de ce circuit (ces forces étant prises avec leurs signes), divisées par la somme des résistances que présente ce circuit : $I = \frac{E}{R}$. Cette loi, que Ohm le premier a énoncée avec cette rigueur mathématique, en la déduisant de considérations *à priori*, a été vérifiée expérimentalement, comme nous l'avons vu, par Fachner pour des circuits hydro-électriques, et par Pouillet, pour ces mêmes circuits, ainsi que pour les circuits thermo-électriques. Mais dans sa généralité, la loi s'applique à toute espèce de circuits aussi bien qu'à ceux que nous venons de désigner, et en particulier aux circuits dans lesquels la force électromotrice est développée par l'action inductrice qu'exerce sur eux, dans une de leur portion plus ou moins longue, l'approche d'un aimant ou d'un courant électrique fermé. Elle est donc indépendante de la nature de la force électromotrice, et par conséquent aussi de toute espèce d'hypothèse qu'on peut faire sur cette nature. On peut avoir un circuit fermé sans qu'il n'y ait encore aucun courant qui y circule ; tel est le cas d'un circuit thermo-électrique dont toutes les parties sont à la même température, d'un circuit destiné à l'induction avant qu'on l'ait soumis à l'action inductrice ; ces circuits possèdent une force de résistance, qu'ils opposeront toujours la même à tout courant qui les parcourra, que ce courant provienne ou d'une force électromotrice qui leur soit extérieure, ou d'une force électromotrice qui soit provoquée dans une ou plusieurs parties d'eux-mêmes, par exemple, en chauffant les points de contact impairs des portions hétérogènes du circuit thermo-électrique, en déterminant l'action inductrice sur une certaine portion du circuit destiné à être induit.

On trouve dans le *Traité de Physique* de M. Pouillet[1] l'exposition détaillée des expériences et des calculs très-simples, au moyen desquels ce savant physicien est parvenu à établir la formule générale de l'intensité d'une pile composée d'un nombre n de couples, dont l'intensité et la résistance individuelles sont données. Il faut en outre connaître la résistance a des conducteurs communs dans laquelle est comprise celle du

[1] *Éléments de physique expérimentale et de météorologie*, par M. Pouillet. 6e édition, 1853, t. I, p. 631 et suiv.

...mètre à sinus ou à tangente d... à mesurer l'intensité du cou-
le chaque couple, et ensuite de la pile entière, et la résistance l du
on ajoute au circuit; toutes ces résistances sont données en longueurs
es d'un même fil de cuivre. M. Pouillet arrive ainsi à cette formule
ale : $\frac{\Sigma r i}{\Sigma r - a(n-1) + l}$, dans laquelle $\Sigma r i$ exprime la somme des
its de i_1 et r_1, de i_2 et r_2 etc., i_1 et r_1 étant l'intensité et la résis-
individuelles du premier couple, i_2 et r_2 celles du second, etc., Σr
la somme des résistances $r_1 r_2$, etc., de chaque couple. Il est facile de
ue $\Sigma r i$ est la somme des forces électromotrices e_1 e_2 des couples,
ne $i_1 = \frac{e_1}{r_1}$ et par conséquent $i_1 r_1 = e_1$. Ainsi la formule générale
e par M. Pouillet, au moyen d'expériences directes, est toujours la
: que $\frac{E}{R+l}$. Il faut seulement faire attention ici que M. Pouillet re-
he de la somme des résistances Σr ou R, autant de fois la résistance
onducteur commun (galvanomètre qui a servi à la mesure) qu'il y
couples moins un, ce qui tient à ce que la résistance de chaque cou-
été déterminée individuellement au moyen de ce galvanomètre mis
on circuit, lequel se retrouve bien dans le circuit de la pile entière,
une fois seulement, et non pas n fois, c'est-à-dire non pas autant de
s'il y a de couples. Il faut donc retrancher cette résistance, qui se
: implicitement comprise dans celle de chaque couple, autant de fois
y a de couples dans la pile moins un.

spérant ainsi, M. Pouillet trouve un accord complet entre les valeurs
expérience directe lui donne pour l'intensité du courant de piles
sées d'un plus ou moins grand nombre de couples, et celles qu'il
e la formule en y introduisant les valeurs numériques que l'expé-
lui avait données pour l'intensité et la résistance individuelles de
s des couples dont la pile est formée.

s le cas ordinaire où les couples de la pile ont tous la même inten-
a formule devient : $\frac{n r i}{n r - a(n-1) + l}$, et si a est très-petit par
rt à r, ce qui peut arriver facilement, elle devient : $\frac{n r i}{n r + l}$. Si on
ne l en fraction de r de manière qu'on ait $l = p r$, la formule de-
: $\frac{n i}{n + p}$; et si p est très-petit par rapport à n, c'est-à-dire si le con-
r qu'on ajoute au circuit ou, ce qui revient au même, qui réunit les
le la pile est très-bon, soit par sa nature, soit par ses dimensions,
en même temps le nombre des couples soit très-grand, alors la for-
devient : $\frac{n i}{n}$ ou i, c'est-à-dire que l'intensité de la pile est égale à
l'un couple; tel est le cas par exemple, comme nous l'avons vu

(p. 502 et suiv.), d'une pile thermo-électrique composée d'un certain nombre de couples semblables ajoutés bout à bout de manière à former à eux seuls le circuit complet, sans conducteur interposé, car alors on a $p = o$. Si au contraire p est très-grand par rapport à n, c'est-à-dire si le conducteur interposé est un fil fin et long, ou un liquide qui présente une grande résistance, tandis que d'un autre côté r ou la résistance de chaque couple est petite, alors n disparaît devant p et la formule devient $\frac{n\,i}{p}$; c'est-à-dire que l'intensité de la pile est proportionnelle au nombre de ses couples; ce cas se réalise exactement quand $p = \frac{1}{o}$; c'est-à-dire quand les pôles de la pile sont isolés, la tension de chacun d'eux est alors en effet exactement proportionnelle au nombre des couples. Du reste, les deux cas extrêmes que nous venons de supposer sont les deux limites entre lesquelles l'intensité d'une pile quelconque est nécessairement comprise; dans les cas ordinaires, cette intensité a donc une valeur comprise entre ces limites[1].

Après ce coup d'œil général sur les lois mathématiques qui régissent l'intensité des courants, venons-en à savoir comment on peut connaître ou obtenir le maximum d'effet utile d'une pile. Nous suivrons pour cela la méthode décrite par M. Poggendorff, méthode dont nous avons déjà indiqué les résultats dans le corps de l'ouvrage (p. 760).

On a $i = \frac{e}{r+l}$, en appelant e la force électromotrice d'un couple, r la résistance de ce couple (résistance *essentielle* et constante du circuit), et l la résistance accessoire et variable extérieure au couple; en appelant m le maximum d'intensité du courant, on a $m = \frac{e}{r}$. On peut approcher de ce maximum, soit en annulant autant que possible la résistance l, en employant pour fermer le circuit un conducteur aussi bon que possible, soit en rendant n aussi grand que possible, c'est-à-dire en construisant une pile composée d'un aussi grand nombre de couples que possible, ce qui fait

[1] C'est à tort, suivant nous, que M. Pouillet appelle le cas *le plus défavorable*, celui où l'intensité de la pile n'est ni plus ni moins grande que celle d'un couple, et le cas *le plus favorable*, celui où elle est proportionnelle au nombre des couples. En effet, dans le premier cas, son intensité est $\frac{n\,e}{e} = e$, et dans le second $\frac{n\,e}{p} < e$, puisqu'on n'obtient $\frac{n\,e}{p}$ pour la valeur de l'intensité de la pile qu'en faisant p infiniment grand par rapport à n. Il est vrai que dans ce second cas, l'intensité est d'autant plus grande que le nombre des couples est plus considérable; mais l'existence de ce rapport entre l'intensité et le nombre des couples n'influe en rien sur la valeur absolue de cette intensité.

dans l'expression $I = \frac{ne}{nr+l}$, l disparait devant nr et on a $I = \frac{e}{r} = m$.

i on a un second circuit dont les éléments correspondants à ceux du nier soient e', r', l', i', on a d'une manière générale l'expression suite pour le rapport des intensités des courants des deux circuits :

$$\frac{i}{i'} = \frac{e}{e'} \cdot \frac{r'+l'}{r+l}.$$

i l'on suppose $l = l'$ et qu'on fasse $l = o$, puis $l = \frac{1}{o'}$, on aura dans premier cas : $\frac{i}{i'} = \frac{e}{e'} \cdot \frac{r'}{r}$ et dans le second $\frac{i}{i'} = \frac{e}{e'}$.

a première limite est le rapport des courants maximum, puisque $= \frac{e}{r}$ et $m' = \frac{e'}{r'}$. La seconde limite est le rapport des forces électromo-es. Ces deux limites sont elles-mêmes entre elles inversément comme résistances essentielles des deux circuits.

e rapport des courants maximum est en même temps celui des inten-s de deux courants voltaïques par lesquelles on obtient, avec ces cou-s, le maximun d'effet utile ; et c'est ici que vient la solution de la ques-: étant données deux surfaces métalliques (zinc amalgamé et platine, exemple), en combien de couples doit-on les diviser pour avoir une pile produise le maximum d'effet dans un voltamètre chimique ou calori-placé dans son circuit ? La distance qui doit exister entre les plaques couples, le liquide ou les liquides dont on doit se servir, sont aussi és.

effet chimique du courant étant proportionnel à son intensité et son calorifique au carré de son intensité, l'effet utile sera donc, dans ces le plus grand possible quand l'intensité du courant sera maximum. donc l la résistance du voltamètre [1], λ la résistance du liquide qui dans la formation de la pile, pour l'unité de section et pour une eur égale à la distance entre les plaques de chaque couple, σ la gran-de la surface à donner à chaque plaque et par conséquent la gran-de la section du liquide, et s la grandeur de l'une des deux surfaces liques données qui sont égales entre elles. Dans l'expression générale,

[1] Le voltamètre peut être un voltamètre calorifique, c'est-à-dire un fil fin de me qu'on met dans le circuit et dont on mesure le réchauffement ; dans ce est la résistance de ce fil quand il est arrivé à la température que lui im-e le passage du courant électrique. Le voltamètre peut être un voltamètre ique, et alors la résistance l est celle qui résulte de l'ensemble des causes mpris les polarités secondaires) qui diminuent l'intensité du courant dans rcuit duquel est le voltamètre, et qui peut toujours être représentée par la eur plus ou moins considérable d'un fil métallique.

$I = \frac{ne}{nr + l}$, on a : $r = \frac{\lambda}{\sigma}$, puisque la résistance du couple doit être directement proportionnelle à celle du liquide dont le couple est chargé, et inversément proportionnelle à la section du liquide ; on a d'un autre côté $n = \frac{s}{\sigma}$, ce qui donne $r = \frac{n\lambda}{s}$; remplaçant r par sa valeur dans l'expression de I, on a :

$$I = \frac{nes}{n^2\lambda + sl}$$

de sorte que l'intensité du courant est exprimée en fonction de la seule variable n.

Il n'y a donc plus qu'à chercher quelle est la valeur de n qui rendra cette expression un maximum, et pour cela, il faut égaler sa dérivée à o, ce qui donne :

$$es(n^2\lambda + sl) - 2n^2\lambda es = o$$

d'où l'on tire :

$$n^2 = \frac{sl}{\lambda} \text{ ou } l = \frac{n^2\lambda}{s} = nr, \text{puisque } r = \frac{n\lambda}{s}.$$

Ainsi l'intensité du courant est à son maximum, quand le nombre des couples est tel que la résistance intérieure de la pile est égale à celle que le courant doit surmonter extérieurement dans l'un ou l'autre des voltamètres. On a par conséquent pour la valeur du maximum d'effet utile (qui est ici la même chose que le maximum d'intensité du courant) :

$$I = \frac{ne}{nr + nr} = \frac{e}{2r}$$

On trouve ainsi que l'intensité du courant, pour le cas du maximum d'effet utile, est égale au demi maximum d'intensité absolue que le courant de la pile ou celui de l'un de ses couples peut atteindre, et qui a lieu dans le cas où la résistance extérieure est nulle.

On arrive exactement au même résultat dans la solution d'une autre question, celle où il s'agit de savoir quelle doit être la longueur et le diamètre d'un fil conducteur dont le volume est donné [1], pour obtenir le maximum d'action magnétique avec une pile voltaïque donnée. — Si on appelle t la longueur et s la section du fil dont la résistance est représentée par l dans la formule générale, v le volume donné du fil, on a, en supposant que la résistance du fil soit 1 pour l'unité de longueur et de section, $v = ts$ et $l = \frac{t}{s}$ d'où $l = \frac{t^2}{v}$.

[1] En général l'espace qui doit être rempli par le fil métallique est donné dans la plupart des cas (par exemple dans les galvanomètres et dans les machines électro-magnétiques), espace qu'on peut remplir par un fil gros et court, ou mince et long ; il s'agit de savoir les dimensions qu'il faut lui donner pour avoir le maximum d'effet utile.

emplace l par sa valeur dans la formule générale, on a :

$$I = \frac{nve}{nvr + l^2}.$$

our avoir l'effet utile dans ce cas, il faut multiplier I par l lon-
fil, parce que l'action électro-dynamique d'un fil traversé par le
lectrique est proportionnelle au produit de l'intensité du courant
ngueur du fil, ce qui donne :

$$Il = \frac{nvel}{nvr + l^2}.$$

érentiant cette équation par rapport à n pour trouver le cas dans
a une valeur maximum, on trouve que cette valeur maximum a
d $l^2 = nvr$ ou, puisque $l^2 = vl$, quand $l = nr$, c'est-à-dire quand
ur et la section du fil sont tels que sa résistance l soit égale à la
e intérieure de la pile; résultat semblable à celui que nous avons
ns le cas précédent, et d'où l'on tire également pour la valeur de
du courant dans le cas du maximum d'effet utile : $I = \frac{e}{2r}$.

FIN DU DEUXIÈME VOLUME.

TABLE DES MATIÈRES

DU DEUXIÈME VOLUME.

AVERTISSEMENT. V
Errata. VII

QUATRIÈME PARTIE.

TRANSMISSION DE L'ÉLECTRICITÉ.

CHAPITRE I. — **Propagation de l'électricité** 1

§ 1. Notions générales sur la propagation de l'électricité 1
§ 2. Lois de la propagation de l'électricité dans les bons conducteurs. 8
§ 3. Conductibilité électrique des solides et des liquides 33
§ 4. Propagation de l'électricité dans les conducteurs imparfaits solides et liquides. 63
§ 5. Propagation de l'électricité dans les fluides élastiques . . . 83
§ 6. Considérations générales sur le mode de transmission de l'électricité dans les corps et dans le vide, et sur quelques phénomènes moléculaires qui en sont la conséquence. 109
§ 7. Vitesse de propagation de l'électricité 123

CHAPITRE II. — **Effets calorifiques et lumineux de l'électricité dynamique.** 142

§ 1. Formes et conditions sous lesquelles la chaleur et la lumière sont produites par l'électricité dynamique 142
§ 2. Effets calorifiques produits par le passage de l'électricité dynamique à travers de bons conducteurs. 144
§ 3. Lois qui régissent les effets calorifiques des décharges dans les bons conducteurs. 154
§ 4. Lois des effets calorifiques produits par le passage des courants continus à travers de bons conducteurs . . . . . 1[illegible]
§ 5. Incandescence et fusion des métaux par l'électricité dynamique, et effets moléculaires qui les accompagnent 193
§ 6. Effets calorifiques et lumineux des décharges à travers des conducteurs imparfaits. 203
§ 7. Effets calorifiques et lumineux des courants électriques à travers les conducteurs imparfaits. — Arc voltaïque 220
§ 8. Considérations générales sur la chaleur et la lumière électrique. — Propriétés spéciales de cette lumière. 243

RE III. — **Effets chimiques de l'électricité dynamique.** 277

1. Décompositions opérées par le courant voltaïque 277
2. Lois des décompositions électro-chimiques. — Action définie du courant 293
3. Exceptions apparentes aux lois de l'électrolyse et confirmation de ces lois. 315
4. Influence des électrodes sur les décompositions électro-chimiques. 334
5. Mouvements produits dans les liquides électrolytiques par le passage du courant. 363
6. Effets chimiques de l'électricité ordinaire et de l'étincelle électrique 381
7. Production et propriétés de l'ozone 407

RE IV. — **Effets physiologiques que l'électricité dynamique exerce sur les corps organisés.** . . . 422

1. Nature des effets que l'électricité dynamique exerce sur les corps organisés 422
2. Analyse fondamentale de l'action du courant électrique sur les animaux 433

CINQUIÈME PARTIE.

SOURCES DE L'ÉLECTRICITÉ.

RE I. — **Électricité produite par l'action de la chaleur** 456

1. Développement de l'électricité par l'action calorifique dans les mauvais conducteurs 456
2. Dégagement d'électricité par l'action calorifique dans les corps bons conducteurs. — Courants thermo-électriques . . . 473
3. Rapport entre la thermo-électricité et la structure moléculaire des corps. 487
4. Piles thermo-électriques et application de la thermo-électricité à la mesure des températures. 501
5. Rapprochement entre les effets calorifiques du courant et les phénomènes thermo-électriques. — Essai de théorie. . . 519

RE II. — **Électricité produite par les actions mécaniques** 534

1. Développement de l'électricité par le frottement des corps solides isolants 534
2. Dégagement de l'électricité dans le frottement des corps en poudre, des liquides et des gaz. — Machine hydro-électrique. 558
3. Dégagement de l'électricité dans le frottement de deux corps bons conducteurs. 571
4. Dégagement de l'électricité dans les actions mécaniques autres que le frottement. 575

§ 5. Considérations générales sur le dégagement de l'électricité par les actions mécaniques et sur ses rapports avec le dégagement de la chaleur. 583

CHAPITRE III. — **Électricité produite par les actions chimiques** 590

§ 1. Production d'électricité par l'action chimique des liquides sur les solides. — Couple et pile voltaïque 590

§ 2. Production d'électricité dans l'action chimique des dissolutions les unes sur les autres 634

§ 3. Production d'électricité dans l'action chimique des liquides sur les couches minces dont sont recouvertes des surfaces solides. — Polarités secondaires, pile à gaz, fer passif. 654

§ 4. Production d'électricité dans la combustion et par l'action combinée de la chaleur et de l'affinité chimique. 684

§ 5. Application des principes qui précèdent, à la construction et à la théorie des différentes piles voltaïques. 699

§ 6. Mesure de la force électro-motrice relative des diverses combinaisons voltaïques. 721

§ 7. Électricité de contact. — Piles sèches 767

§ 8. Rapport entre l'électricité et les actions chimiques. — Théories électro-chimiques. 795

NOTES

RELATIVES AUX DÉVELOPPEMENTS MATHÉMATIQUES DE QUELQUES POINTS PARTICULIERS.

NOTE A. Relative à la propagation de l'électricité. 829

NOTE B. Relative aux courants dérivés. 834

NOTE C. Relative aux lois des décharges des batteries électriques. . 838

NOTE D. Relative au thermomètre électrique et au réchauffement des fils par le passage de l'électricité dynamique. 840

NOTE E. Relative à la décomposition électrolytique des composés complexes. 842

NOTE F. Méthode de M. Poggendorff pour la détermination de la force électromotrice d'un courant à force non constante. . . 845

NOTE G. Relative à la théorie mathématique de la pile. 849

FIN DE LA TABLE.

Paris. — Imprimerie de Gustave GRATIOT, rue Mazarine, 30

3 2044 018 700

APR 24 1983

307503

Canceled

70H

NIPCHER, R

SEP 11 1995

CANCELED